

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EVSEL NİTELİKLİ GRİ SUYUN GERİ KAZANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşenur ÖZGÜN

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Yasemin DAMAR ARİFOĞLU

Ocak 2023

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EVSEL NİTELİKLİ GRİ SUYUN GERİ KAZANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşenur ÖZGÜN

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 16.01.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Yasemin
DAMAR ARİFOĞLU

Jüri Başkanı

Doç. Dr. Füsun
BOYSAN

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Nazire
Pınar TANATTI

Üye

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

Ayşenur ÖZGÜN

16/01/2023

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez danışmanlığımı üstelenerek, konunun belirlenmesinde, çalışmanın gerçekleştirildiği zaman diliminde elindeki imkanlarını sonsuz bir şekilde sunan, yazım aşamasında her daim bilgi, öneri ve görüşleriyle yardımlarını benden esirgemeyen, tecrübesiyle yoluma ışık tutan üzerimdeki desteğini her zaman hissettiğim çok sevgili danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Yasemin DAMAR ARİFOĞLU'na en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarım için altyapısını kullandığım Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na, ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (Proje No: 2020-7-24-32) teşekkür ederim.

Tez çalışmasında malzeme temini ve hizmet alımında BeyondLab Laboratuvar Ürünleri firmasının sağladığı destek ve hoşgörüyü sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasında kullanılan gerçek gri suyun bulunmasında yardımcı olup çalışmanın en büyük katkısını sağlamış olan Hüseyin ULU'ya, yüksek lisans eğitimim boyunca her türlü yardımıyla bu çalışmanın destekçisi olan manevi kız kardeşim Banu Zeynep TERZİ'ye, hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman benden esirgemeyen, en büyük destekçilerim sevgili annem, babam ve kız kardeşlerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Uzun yıllar süren ciddi bir emek ve özveri ile hazırladığım yüksek lisans tezimi tamamlamanın heyecanını ve gururunu yaşıyorum. Yardımlarını benden esirgememiş ve teşvik etmiş herkese çok teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	Vi
TABLolar LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜRDE GRİ SU	5
BÖLÜM 3.	
KAVRAMSAL ÇERÇEVE	8
3.1. Su Potansiyeli	8
3.2. Su Yönetimi Uygulamaları	10
3.3. Küresel İklim Değişikliği ve Su Kıtlığı	10
3.4. Gri Su	12
3.4.1. Gri su kalitesi	13
3.4.2. Gri su karakterizasyonu	14
3.5. Gri Su Kirleticilerinin Birleşimi	16
3.6. Evsel Gri Su Kaynağı ve Özellikleri	19
3.6.1. Fiziksel parametre	19

3.6.2. Kimyasal parametre	22
3.6.3. Mikrobiyolojik parametre	24
3.7. Gri Suların Yeniden Kullanımı ve Yönergeler	25
3.8. Gri Su Arıtma Teknolojileri	28
3.8.1. Membran biyoreaktörler	30
3.8.2. Döner biyolojik reaktörler	31
3.8.3. Ardışık kesikli reaktörler	33
3.8.4. Yapay sulak alanlar	36
3.9. Sürdürülebilirlik için Gri Su Arıtımı ve Yeniden Kullanımı	37
3.10. Gri Suyun Türkiye’de ve Dünyada Önemi Kullanım Yerleri	38
3.11. Gri Suyun Güvenli Kullanımı için Who Yönergeleri	42

BÖLÜM 4.

MATERYAL VE YÖNTEM	42
4.1. Materyal	42
4.1.1. Gri suyun temini ve karakterizasyonu	42
4.1.2. AKR düzeneği	46
4.1.3. Çalışmada kullanılan malzemeler, cihazlar ve kimyasallar	47
4.2. Yöntem	48
4.2.1. Gri suyun fiziksel arıtımı	48
4.2.2. Gri suyun biyolojik arıtımı (AKR)	49
4.2.3. Analitik Yöntemler	50
4.2.3.1. pH , elektriksel iletkenlik, çözünmüş oksijen ölçümleri	50
4.2.3.2. Bulanıklık ve askıda katı madde(AKM) analizi	52
4.2.3.3. Azot ve fosfat analizi	53
4.2.3.4. Kimyasal oksijen ihtiyacı(KOİ) ve biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) analizleri	54

BÖLÜM 5.

ARAŞTIRMA BULGULARI	56
5.1. AKR Sisteminde Uygulanacak Çalışma Prensiplerinin Kararı	56

5.2. Gerçek Gri Su Numunelerinin Sonuçları	59
5.3. Gri Su Arıtımında Fizikokimyasal Analiz Sonuçları	62
5.3.1. pH ölçüm sonuçları	62
5.3.2. Elektriksel iletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ölçüm sonuçları	63
5.3.3. Çözünmüş oksijen (mg/L) ölçüm sonuçları	63
5.3.4. Bulanıklık (NTU) ölçüm sonuçları	64
5.3.5. Askıda katı madde (mg/L) analiz sonuçları	64
5.4. Gri Su Arıtımında Toplam Azot (mg/L) Giderimi	65
5.5. Gri Su Arıtımında Fosfat (mg/L) Giderimi	66
5.6. Gri Su Arıtımında KOİ (mg/L) Giderimi	67
5.7. Gri Su Arıtımında BOİ (mg/L) Giderimi	68
BÖLÜM 6.	
TARTIŞMA VE SONUÇ	70
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	97

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AAT	: Atıksu Arıtma Tesisi
AKM	: Askıda Katı Madde
AKR	: Ardışık Kesikli Reaktör
BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
ÇO	: Çözülmüş Oksijen
DBD	: Döner Biyolojik Disk
DEET	: N, N- dietil m-toluamid
Eİ	: Elektriksel İletkenlik
HRT	: Hidrolik Bekleme Süresi
KAAY	: Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MBR	: Membran Biyoreaktör
NH ₄ -N	: Amonyum Azotu
NO ₂ -N	: Nitrit Azotu
NO ₃ -N	: Nitrat Azotu
SKKY	: Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
TA	: Toplam Azot
TF	: Toplam Fosfor
TKM	: Toplam Katı Madde
TKN	: Toplam Kjeldhal Azotu
TOK	: Toplam Organik Karbon
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
USEPA	: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
UNESCO	: Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Dünyadaki suyun dağılımı	8
Şekil 3.2. Kıtalarla göre nüfus ve su miktarı yüzdeleri	11
Şekil 3.3. Evsel gri su ve siyah su gösterimi	12
Şekil 3.4. Gri su üretiminin göreceli dağılımı	14
Şekil 3.5. Gri su arıtım teknolojileri	28
Şekil 3.6. MBR pilot tesisin şeması	31
Şekil 3.7. DBD pilot tesisinin şeması	32
Şekil 3.8. AKR sisteminin işletimi	34
Şekil 3.9. Yapay sulak alan	37
Şekil 3.10. Bir binada hidrolik döngü	39
Şekil 4.1. Gri suyun üretildiği konut	42
Şekil 4.2. Konut dışında gri suyun biriktiği yağ tutucu ünitesi	45
Şekil 4.3. Ardışık kesikli reaktör(AKR) prosesi	46
Şekil 4.4. Elekten geçirilmiş ham gri suyun elekte kalan kısmı	49
Şekil 4.5. pH, elektriksel iletkenlik, çözünmüş oksijen ölçümleri	51
Şekil 4.6. Askıda katı madde tayini	52
Şekil 4.7. Bulanıklık tayini	52
Şekil 5.1. Arıtma çamurundaki rotifer varlığı	56
Şekil 5.2. Ön çalışmada HRT'ler arası verim	58
Şekil 5.3. Gri suyun 2.5 günlük HRT'de parametrelerin verim değerleri	68
Şekil 5.4. Gerçek gri su numunesi ve arıtılmış gri su numunesi	69

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Çok sayıda literatürden elde edilen verilerden derlenen gri suyun karakteristiği	17
Tablo 3.2. Gri su kaynakları ve özellikleri	20
Tablo 3.3. Gri suyun özellikleri	21
Tablo 3.4. Çeşitli kaynaklardan gri suyun fiziksel özellikler	22
Tablo 3.5. Çeşitli kaynaklardan gri suyun kimyasal özellikleri	24
Tablo 3.6. Çeşitli kaynaklardan gri suyun mikrobiyolojik özellikleri	25
Tablo 3.7. DBD pilot tesisi için giriş gri su karakteri	33
Tablo 3.8. AKR çıkış suyu karakteri	35
Tablo 3.9. Yatay akışlı ve dikey akışlı yapay sulak alan çıkış suyu parametreleri .	37
Tablo 3.10. Gri suyun yeniden kullanım limiti WHO standartları	42
Tablo 3.11. Gelişmiş ülkeler ve WHO tarafından gri su standartları	43
Tablo 4.1. Evsel nitelikli gri suyun karakteri	45
Tablo 4.2. AKR sistemi havalandırma ve çökelme fazının gerçek görünümü	47
Tablo 4.3. AKR sisteminin çalışma prensibi	48
Tablo 5.1. Son çalışmada kullanılan gri su numunesinin analiz sonuçları	60
Tablo 5.2. AKR çıkış suyunun deneysel çalışma sırasına göre parametrelerdeki değişiklikler	66

ÖZET

Anahtar kelimeler: Gri su, ardışık kesikli reaktör, yeniden kullanım, sürdürülebilirlik

Su kaynaklarının mevcut durumu ve iklim değişikliği sorununa çözüm üretmek, iklim değişikliğinin su kaynakları üzerindeki potansiyel etkilerini azaltmak için arıtma sistemleri su geri kazanımında bir seçenektir. Evsel atık suyun ortalama %65'i, tuvaletler dışında evlerde üretilen atık suyu içeren gri sudan oluşmaktadır. Gri suyun yeniden kullanılmasının önündeki engel gri suda bulunan patojenler, besinler ve organik maddelerle ilgilidir. Gri su arıtımı için farklı biyolojik arıtma prosesleri bulunmaktadır. Bu sistemlerden biri, atık suyu arıtmanın etkili bir yolu olduğu kanıtlanmış olan ardışık kesikli reaktördür (AKR). Arıtımı gerçekleştirilecek gri su içilemez şekilde yeniden kullanım amaçlı kullanıldığında tatlı su tüketimini azaltabilmekte ve su güvenliğini sağlayabilmektedir.

Bu çalışmada amaç, gerçek gri suyun AKR reaktöründe arıtımındaki performansını incelemek ve yeniden kullanım için ne kadar uygun olabildiğini araştırmak olmuştur. AKR reaktörü olarak 25-30 L'lik bir akvaryum kullanılmıştır. Gri su Kocaeli İl'i İzmit İlçesi'nde 6 ailenin yaşadığı yaklaşık 20-24 kişilik konuttan temin edilmiştir. Reaktörün birincil mikroorganizması yerel bir belediyeden alınan aktif çamur olmuştur. Başlangıçta gri su, 1 günlük ve 2,5 günlük HRT'lerde çalıştırılmıştır. Burada ki amaç sistemin arıtım verimini incelemek ve sistemi öğrenmek olmuştur. Yapılan çalışmalar neticesinde 2,5 günlük HRT'nin daha verimli sonuçlar çıkardığı görülmüştür. AKR reaktörüne ek olarak arıtım verimini arttırmak için birincil bir arıtım olarak elekten geçirme işlemide uygulanmıştır. 2,5 günlük sabit HRT'de elde edilen sonuçlarda pH ort. 8.11, elektriksel iletkenlik ort. 860 μ S/cm, çözülmüş oksijen ort. 7,43 mg/L civarında ölçülmüştür. Giderim verimleri ise; bulanıklık için %99, AKM için %98, fosfat için %88, toplam azot için %90, KOİ için %89 ve BOİ için %98 verim elde edilmiştir. Arıtılmış gri su WHO tarafından öngörülen yeniden kullanım standartlarını kısmen sağlayabilmiştir. SKKY'ne göre atıksuların, atıksu arıtma tesisleriyle (AAT) deşarjında öngörülen atıksu standartlarını sağladığı görülmektedir.

RECYCLING OF DOMESTIC GRAY WATER

SUMMARY

Keywords: Greywater, sequential batch reactor, reuse, sustainability

Treatment systems are an option in water recovery in order to find solutions to the current situation of water resources and climate change, and to reduce the potential effects of climate change on water resources. On average, 65% of domestic wastewater consists of gray water, which includes wastewater produced in homes, excluding toilets. The barrier to graywater reuse relates to pathogens, nutrients and organic matter found in gray water. There are different biological treatment processes for graywater treatment. One such system is the sequential batch reactor (SBR), which has proven to be an effective way to treat wastewater. When the graywater to be treated is used for non-potable purposes, it can reduce fresh water consumption and ensure water safety.

The aim of this study was to examine the performance of real graywater in the treatment of the SBR reactor and to investigate how suitable it can be for reuse. A 25-30 L aquarium was used as the SBR reactor. Graywater was obtained from a residence of approximately 20-24 people, where 6 families live in Izmit district of Kocaeli province. The primary microorganism of the reactor was activated sludge from a local municipality. Initially, graywater was run on 1 day and 2.5 day HRTs. The aim here was to examine the treatment efficiency of the system and to learn the system. As a result of the studies, it has been seen that 2.5 days of HRT produces more efficient results. In addition to the SBR reactor, sieving was applied as a primary treatment to increase the treatment efficiency. pH average in results obtained at 2.5 days of fixed HRT. 8.11, electrical conductivity avg. 860 $\mu\text{S}/\text{cm}$, dissolved oxygen approx. It has been measured around 7.43 mg/L. The removal efficiencies are; yields were 99% for turbidity, 98% for TSS, 88% for phosphate, 90% for total nitrogen, 89% for COD and 98% for BOD. Treated graywater was partially able to meet the reuse standards prescribed by WHO. According to WPCR, it is seen that wastewater meets the wastewater standards stipulated in the discharge of wastewater treatment plants (WWTP).

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Su kaynakları insan yaşamı, sosyoekonomik gelişim ve ekosistem sağlığı için gereklidir (Huang ve ark., 2021). Su talebine olan artış, yenilenebilir tatlı su kaynaklarına baskı oluşturmasıyla su kıtlığı en büyük risklerden biri haline gelmiştir (Kummu ve ark., 2016). Öte yandan, nüfus artışı, artan gıda talebi, rezervuar düzenlemesi, arazi kullanımı değişimi ve insan faaliyetleri, su kıtlığı koşullarının evrimini de büyük ölçüde etkileyecektir. İklim değişikliğinin yol açtığı artan sıcaklıklar, artan buharlaşma ve dolayısıyla yağış ve nehir akışlarındaki değişiklikler nedeniyle su mevcudiyeti etkilenecektir (Hristov ve ark., 2021). İklim değişikliği nedeniyle su stresli alanlar dünya çapında genişlerken, su tasarrufu kuraklık bağlamında su kaynaklarını yönetmek için önemli bir araç haline gelmiştir (Boyer ve ark., 2021).

Türkiye, su kaynakları kullanımı ve değerlendirilmesi konusundaki faaliyetleriyle, bulunduğu coğrafyada sorunsuz ülkelerden biri olarak gözükmese rağmen, özellikle kişi başına kullanılabilir su potansiyeline bakıldığında, durumun farklı olduğu ortaya çıkmaktadır. Günümüzde kişi başına düşen kullanılabilir su potansiyeli 1.500-1.600 m³ civarında olup, Türkiye kişi başına düşen kullanılabilir su varlığı endeksine göre su zengini olmayan ülkeler arasında yer almaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu Başkanlığı, 2030 yılı Türkiye nüfusunun 100 milyona ulaşacağını tahmin etmektedir. Buna göre 2030 yılı için bir kişinin yıllık tüketebileceği su miktarının 1100 m³ civarında olacağı tahmin edilmektedir (Kutlu, 2017). Öngörülen bu rakamlara göre Türkiye’de su stresi giderek artacak ve su sıkıntısı çeken ülkeler sınırına çok yakın bir konuma gelecektir. Türkiye’de özellikle son yıllarda yaşanan kuraklık, suyun gerek tarım gerekse evsel kullanımında önemli sorunlar ortaya çıkarmış ve ekonomik kayıplara sebep olmuştur. Küresel iklim değişimine bağlı olarak yaşanacak iklim anormallikleri, su probleminin sosyal ve ekonomik sorunlara yol açabileceğini göstermektedir (Çiçek ve Ataol, 2009). Bu sebeple, Türkiye’nin su potansiyelinin doğru hesaplanması ve en uygun kullanımı, geleceğin planlanmasında

çok büyük öneme sahiptir. Gıda güvenliğini sağlamak, hayvancılığı beslemek, endüstriyel üretimi sağlamak ve biyoçeşitliliği ve çevreyi korumak için suya ihtiyaç vardır. Talep ile tatlı suyun mevcudiyeti arasındaki dengeyi korumak için alternatif bir su kaynağı aramak gerekmektedir. Sorunun üstesinden gelmek için atık suların geri dönüşümü ve yeniden kullanımı dünya çapında farklı tekniklerle uygulanmıştır. Atık suların arıtılmadan su kütlelerine (nehirler, okyanuslar ve göller) boşaltılması, su kütlelerinin kendi kendini temizleme kapasitesini azaltmakta ve doğal kaynaklardaki kirlenmeyi arttırmaktadır. Kentsel atık suların geri dönüşümü, su kıtlığıyla mücadelede hem gelişmekte olan hem de gelişmiş ülkelerde tatlı su ve yeraltı sularının korunmasına yardımcı olduğundan ilgi görmektedir (Patil ve Munavalli, 2016).

Evsel atık suyun artık kirlenici olmaktan çıkıp, yeniden değerlendirilebilecek bir kaynak olduğunu benimseyen ECOSAN (Ecological Sanitation) yaklaşımına göre atık suları sınıflandırmak ve kendi özelliklerine uygun bir şekilde arıtıp yeniden kullanmak mümkündür (Efe, 2017). Evsel atık sular kendi arasında, siyah su ve gri su olarak ayrılmaktadır. Son yıllarda atık sular içinde gri suyun ayrı toplanıp, arıtılıp yeniden kullanılması verimli ve sürdürülebilir sistemler arasında yerini almıştır. Gri su geri dönüşümü için sürdürülebilir arıtma teknolojileri, dünyanın birçok yerindeki tatlı su sıkıntısını en aza indirebilir.

Evlerden üretilen atık sular tipik olarak siyah su ve gri sudan oluşur. Siyah su, tuvaletlerde üretilen atık su olarak tanımlanırken, çamaşır, banyo, duş, el lavaboları, bulaşık makineleri ve mutfak lavabolarında kullanılmak üzere kirlenmiş tatlı suya gri su denir (Eriksson ve ark., 2002). Bir evin ürettiği gri su miktarı yaşam tarzına bağlı olarak değişir, ancak genellikle ev düzeyindeki toplam su tüketiminin %50 ila %80'i arasında değişmektedir (Al-Gheethi ve ark., 2016). Gri sularda bulunan kirlenici maddeler arasında yağ, mutfak suyundan elde edilen gıda atıkları ve tüm ev temizlik ve kişisel bakım ürünlerinden yüzey aktif maddeler bulunur. Siyah suya kıyasla gri su karakteristik olarak düşük askıda katı maddelere (patojenler ve azot) sahiptir. Gri suyun kalitesi içilebilir sudan daha zayıf ve kanalizasyondan daha iyi olduğundan, gri suyun merkezi olmayan arıtımı ve geri dönüşümü kolayca yapılabilir (Khanam ve

Patidar, 2022). Bu özellikleri nedeniyle gri su, yeniden kullanım yoluyla evsel su tasarrufu için büyük bir potansiyeli temsil eder. Dünyanın birçok yerinde peyzaj sulama, tuvalet yıkama, bahçe ve diğer içilebilir olmayan kullanımlar için tercih edilir.

Ev aktivitelerinde kullanılan gri su miktarı yaşam tarzlarına, nüfus yapılarına, yaşam standartlarına, geleneklere, alışkanlıklara, su bolluğu derecelerine ve su tesisatlarına bağlıdır (Morel ve Diener, 2006). Mutfak gri suyundan elde edilen yağ, gıda, toprak parçacıkları, çamaşır makinesinden gelen deterjan, duştan elde edilen şampuan ve saç, lavabolardan sabun, her türlü gri sudaki bulanıklık ve katılığın ana bileşenleridir. pH değeri 5 ile 10 arasında değişen gri su doğada alkali halde bulunur. Mutfak gri suyu proteinleri, karbonhidratları ve yağları içerdiğinden en yüksek organik kirlilik seviyesini oluşturur ve böylece gri su yüksek düzeyde BOİ, KOİ ve besin maddelerine sahiptir (Khanam ve Patidar, 2022).

Gri su arıtımında kirlilik içeriğine bağlı olarak istenilen arıtma verimini sağlamak için fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma yöntemleri tercih edilebilmektedir. Bu tip atık sularda fiziksel yöntem olarak çöktürme ve filtrasyon işlemleri uygulanmaktadır. Kimyasal arıtma teknolojileri olarak iyon değiştiriciler, granüler aktif karbon, elektrokoagülasyon, fotokatalitik oksidasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Fakat kimyasal kullanımını önlemek amacıyla biyolojik arıtma teknolojileri yöntemiyle de gri su arıtımı sağlanabilmektedir. Kullanılan biyolojik arıtma yöntemleri; döner biyolojik reaktör, ardışık kesikli reaktör, membran biyoreaktörü, yapay sulak alan, teknolojileridir. Su geri kazanımı amaçlı diğer arıtma işlemlerinde istenilen arıtma veriminin sağlanabilmesi için bir takım ön işlemlerin (filtrasyon ya çöktürme işlemi vb.) ve ikincil (son) işlemlerin (UV ya klor ile dezenfeksiyon işlemi vb.) kullanılması gerekmektedir (Üstün ve Tırpancı, 2015).

Gri suların tekrar kullanıma uygun hale getirilmesi için ardışık kesikli reaktör geliştirilmesi amaçlanarak deşarj edilen atık suyun miktarının azaltılması ve yeniden kullanıldığı durumda şebeke suyu kullanımı azaltılması hedeflenmiştir. Bu tez çalışması kapsamında gri su geri kazanım çalışmasında ardışık kesikli reaktör tercih

edilmiştir. Okulumuz bünyesinde hazırlamış olduğumuz pilot tesisimiz doldurma-havalandırma-çökelme-boşaltma aşamalarından oluşmaktadır. Doldurma işlemi perispaltik pompa yardımı ile yapılacaktır. Havalandırma işlemi ise karıştırıcı ile gerçekleşecektir. Fazlar belirlenen sürelerde gerçekleştirildikten sonra sistem durdurulacak çökme gerçekleştirilecektir. Elde edilen arıtılmış gri su laboratuvar ortamında belirlenen parametre değerleri incelenecektir.



BÖLÜM 2. LİTERATÜRDE GRİ SU

Alternatif su kaynağı olarak kullanılmak istenen gri suyun kullanım alanları farklılık göstermektedir. Çalışmalar incelendiğinde birçok farklı alanda kullanımlar olduğu gözlemlenmiştir. Gri su ile ilgili çalışmalar dünyada yaygınlık göstermektedir aşağıda özet haliyle birkaç çalışma ele alınmıştır;

- Birleşik Arap Emirlikleri Sharjah Üniversitesi Çevre ve İnşaat Mühendisliği bölümlerinin ortaklaşa çalışması Entegre gri ve siyah su yönetim sistemlerinin eko-verimlilik analizinde geleneksel olmayan atık su arıtım sistemlerini geliştirmişlerdir. Geliştirilen iki farklı sistem gri ve siyah suyu yerinde arıtma veya çift toplama ile değerlendirmeye almak olmuştur. Yerinde arıtılmış gri su tuvalet yıkamak için kullanıldığında musluk suyundan %25 tasarruf sağlanmıştır. Çift toplama ile arıtılacak olan atık su ve gri su için yeni rögar konfigürasyonu tasarlanmıştır. Tüm bu çalışmalar Dubai'deki bir konutta uygulanmıştır. Çevresel değerlendirmede tercih edilen yerinde arıtım olduğu sonucuna varılmış ekonomik olarakta daha hesaplı olduğu ortaya konulmuştur. Eko verimlilik analizinde ise çift toplama ile arıtımın daha uygun olduğu gösterilmiştir. Her iki sistem kıyaslandığında geleneksel kanalizasyon sistemine kıyasla daha çevresel ve finansal faydaları olduğu sonucuna varılmıştır (Abdalla ve ark., 2021).
- Kermanshah Üniversitesi Çevre Sağlık Mühendisliği yeşil çatıların geliştirilmesi için sürdürülebilir bir kaynak olarak gri su çalışmasını ele almışlardır. Yeşil çatıların hava kirliliğinin azaltılması, bina soğutma ihtiyaçlarının azaltılması, gürültü azaltma ve estetiğin iyileştirilmesinin yanında yerleşimcilerin ruh sağlığının teşvik edilmesi gibi birçok faydası bulunmuştur. Bu çalışmada elde edilen arıtılmış gri suyun yeşil çatı üzerinde kullanmakta tüm bu çevre kirliliklerine faydasının yanında temiz su

kaynaklarını %60 oranında korumada yardımcı olduğu kanısına varılmıştır. Gri su arıtımının yeşil çatıda kullanımının çevreye ve insanlara bir çok faydasının olduğu tespit edilmiştir (Mahmoudi ve ark., 2021).

- Santiago Şili’de yapılan çalışma arıtılmış gri suyun bireyler üzerindeki etkisini anket çalışması olarak değerlendirmek olmuştur. Gri su arıtımı yapılmış, nerede, hangi şekilde kullanırsınız tarzında sorular yönetilmiştir. En çok tercih edilen kullanım alandan en az tercih edilen kullanım alanına doğru sıralama tuvalet yıkama, çamaşır yıkama, bahçe sulama, el yıkama ve duş / küvet kullanımı olmuştur. İçme suyu için kullanım tercih edilmemiştir. Cinsiyet, yaş, eğitim düzeyi, su harcama düzeyi, özellikle gri suyun yeniden kullanımı hakkında daha önce bilgi sahibi olmak kabul edilebilirliği ve bu tarz bir sisteme yatırım yapmanın doğru bir su tasarrufuna yönelim olacağı sonucuna varılmıştır. Gri su sistemi teknolojisinin kurulması maliyeti çok önemli olsa da uzun vadeli teknolojik başarı elde edileceği ve kullanımın basit olduğu bilgisinin reklamlar ve afişler ile yayılımının yapılması, benimsenmesi ve tercih edilmesi açısından önemli olacağı yorumu yapılmıştır (Amaris ve ark., 2020).
- Norveç’te kırsal kesim evlerinde yetersiz arıtım sistemlerinden arıtılmış atık suların çevreye deşarj edilmesi yakınlarında bulunan suları kirlettiği görülmüştür. Bir alternatif olarak gri su ve siyah suyu ayrı toplanıp gri su biyofiltre sistemi ile arıtım çalışması yapılmıştır. Biyofiltre sistemi organik madde ve besin konsantrasyonlarını deşarj standartlarına uygun hale getirmiştir. Gri suyun bertarafı doymamış toprak sızma sistemi ile olmuştur. Bu arıtım sonrasında alınan numunenin laboratuvar ortamında yapılan deneyler sonucu KOİ’de %64, BOİ’de %61, askıda katı maddede %75, TA’de %85 ve TF’de %88 değerinde azalma olduğu görüşmüştür (EshetuMoges ve ark., 2017).
- Avustralya’nın Brisbane kentinde sığ yeraltı sularına ve yakındaki yüzey sularına organik mikro kirletici kaynağı olarak gri su sulama işlemi uygulanmıştır. Gri su sistemine sahip bir evden gelen gri su yedi gün boyunca

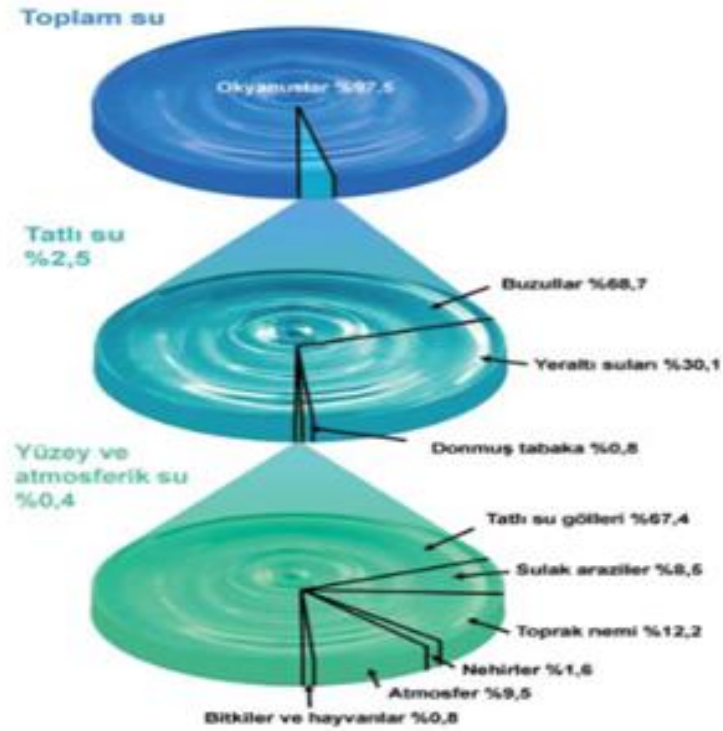
toplanmış, gri sudaki organik mikro kirleticiler tespit edilmiştir. Gri suyun kimyasal analizinden, 22 organik mikro kirleticinin varlığı tespit edilmiştir. Bu organik mikro kirleticilerden altısı (asesülfam, kafein, DEET, parasetamol, salisilik asit ve triklosan), gri su kontaminasyonunun potansiyel izleyicileri olarak seçilmiştir. Kimyasallardan üçü (asesülfam, kafein, DEET) yeraltı suyunda tespit edilirken, salisilik asit bitişik yüzey suyunda da tespit edilmiştir. Gri su sulama işlemi, sığ yeraltı sularının ve yakındaki yüzey sularının organik mikro kirleticilerin kaynağı olabilir kanısına varılmıştır (Turner ve ark., 2019).



BÖLÜM 3. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

3.1. Su Potansiyeli

Su bilinen tüm yaşam formları için gereklidir. İnsan havasız birkaç dakikadan fazla yaşayamayacağı gibi suda en önemli doğal kaynaklarımızdan biridir (Aulenbach, 1968). İnsanın hayatta kalması için çok önemli bir kaynak olan su, dünyanın %70'ini kaplar. Yeryüzünde bulunan suyun %97'si deniz ve okyanusları, %2,97'si kutup buzullarını ve %0,03'ü yüzey sularını oluşturur (Shirazi ve ark., 2012).



Şekil 3.1.Dünyadaki suyun dağılımı

Evsel amaçlı su kullanımı kişi başına günlük su tüketimi üzerinden değerlendirilir. Gelişmiş ülkelerde ortalama kişi başı günlük su tüketimi (500-800 m³) gelişmekte olan ülkelerdeki su tüketiminin yaklaşık on katıdır. Su kıtlığı çeken bölgelerde bu oran kişi başı günlük 20-60 m³'e kadar geriler. Dünyadaki insanların büyük bir kısmı gelişmekte olan ülkelerde yaşamlarını sürdürmektedir. Gelişmekte olan ülkelerdeki kalabalık nüfus birçok noktada güvenli içme suyunun kullanılamazlığından muzdariptir (Khanam ve Patidar, 2022). Öte yandan daha az nüfusa sahip gelişmiş ülkeler güvenli içme suyuna sahip olmakla birlikte çeşitli sorunlara neden olan şişelenmiş suyu satın almak zorunda kalırlar. Yani gelişmiş olduğu kadar gelişmekte olan ülkeler de farklı biçimde su kıtlığı ile karşı karşıyadır. Gelişmekte olan ülkelerdeki nüfus, kentleşme ve sanayileşme içilebilir su kaynaklarındaki eksikliğin başlıca faktörlerindendir. Mevcut su miktarı sınırlı olduğundan ve mekânsal olarak dağıtılmadığından, sürdürülebilirliğini korumak için bu değerli kaynağın uygun şekilde yönetilmesi esastır.

Su kaynakları üzerindeki baskılar kentsel kullanım, sulama, enerji ve üretim faaliyetleriyle ilişkilendirilmektedir. Dünyada tatlı suyun %71'i tarım %18'i sanayi ve %11'i evsel kullanımda kullanılır. Türkiye'de ise tatlı su tüketiminin %73'ü tarım sektöründe, %11'i sanayide, %16'sı evsel kullanımda gerçekleşmektedir.

Dünyanın kentsel nüfusu 1950'de 746 milyondan 2014'te 3,9 milyara hızla artmıştır. Dünyadaki kentsel nüfusun 2045 yılına kadar altı milyarı geçmesi beklenmektedir. Birleşmiş Milletler Dünya Su Geliştirme Raporu'nda (UNESCO, 2016) yer alan Dünya Su Değerlendirme Programı'na göre, su talebi yılda %1 oranında düzenli olarak artmakta ve bu da düşük verimli kuyular ve kaynaklar, yağmur suyu, kentsel atık su ve atık su geri dönüşümü gibi geleneksel olmayan su kaynaklarının kullanılması ihtiyacına yol açmaktadır.

Bugün doğal kaynakların ve özellikle su kaynaklarının kısıtlı olması 21. yüzyılda karşımıza çıkan başlıca zorluktur. Su kaynaklarının devamlılığı; gıda ve enerji güvencesi, ekonomik büyüme, iklim değişikliğiyle mücadele veya biyolojik çeşitlilik kaybının önlenmesi gibi birçok konunun temelini oluşturur. Bu nedenle, su

kaynaklarının kısıtlı olması veya aşırı kullanımı sadece bu konuyla ilgilenenlerin meselesi olmaktan çıkıp herkesi ilgilendirir hale gelmiştir.

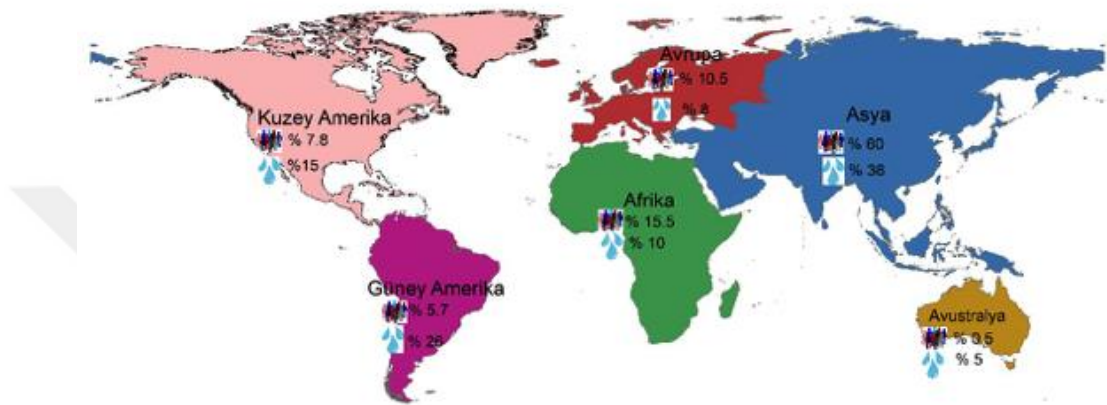
3.2. Su Yönetimi Uygulamaları

Dünyada yaklaşık 700 milyon insan 43 farklı ülkede su kıtlığı çekmektedir. 2,7 milyar insan ise yıl içerisinde en az 1 ay su kıtlığı yaşayan havzalarda yaşamını sürdürmektedir. Artan nüfus, ekonomik büyüme, hem gıda hem de gıda dışı kullanımla beraber tarım ürünlerine olan talebin artması tatlı su kaynakları üzerindeki rekabeti son yıllarda arttırmaktadır (De Fraiture ve Wichelns, 2010). Su talebindeki önemli bir artış, kullanılabilirlik ve kalitenin düşmesi nedeniyle tatlı su kıtlığı ve kirliliği ile ilgili bugünün sorunları gelecekte ağırlaşacak gibi görünmektedir. Birçok yazar, su kaynaklarına olan bağımlılığımızın gelecekte önemli ölçüde artacağını ve bunun ilerleyen zamanlarda gıda güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlik için sorunları beraberinde getireceğini tahmin etmişlerdir (Rosegrant ve ark., 2003). Su kıtlığı ve su kalitesizliği gibi temel sorunlarının çözülmesi gerekir (Pedro-Monzanis ve ark., 2015). Bu sorunun çözüm yolu, su kaynaklarının yönetilmesidir. Suyun kullanılabilirliğini artırmak için Boyjoo ve ark.(2013), daha az ekonomik, sosyal ve ekolojik etkiye sahip çözümlerin dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadırlar. Bu fikir, evlerde ve endüstrilerde suyun yeniden kullanımıyla ilgili tartışmalara ve çalışmalara yer açmakta ve yeni arıtma teknolojilerinin geliştirilmesine büyük ilgi uyandırmaktadır (Asfaha ve ark., 2021). Su tasarrufu için önemli stratejilerden biri gri su suyun yeniden kullanımıdır (Leong ve ark., 2017). Gri su, atık su olarak tanımlanan potansiyel bir su kaynağıdır. Su tüketiminin %50-75'inin gri su ile ilgili olduğu tahmin edilmektedir (Ahmadi ve Ghanbari, 2016). Bu nedenle de gri suyun yeniden kullanımı su kıtlığının hafifletilmesi için harika bir strateji olabilir.

3.3. Küresel İklim Değişikliği

Su kıtlığı dünyanın büyük bir bölümünü etkileyen ve son yıllarda daha akut hale gelen küresel bir sorundur. Genel anlamda su kıtlığı, su talebini karşılamak için tatlı

su eksikliğini ifade etmektedir (Tzanakanis ve ark., 2020). Kişi başına düşen su miktarı ile ölçülen ve çeşitli indeksler yardımıyla değerlendirilen su kıtlığı dünyanın birçok bölgesinde etkisini göstermektedir. (Şahin,2016). Su kaynakları bol olmasına rağmen, eşit olmayan bir şekilde dağılmıştır. Dünya nüfusunun üçte biri su kıtlığından etkilenen bölgelerde yaşamaktadır. Bu rakamın 2025 yılına kadar üçte ikinin üzerine çıkması beklenmektedir (UNESCO, 2017).



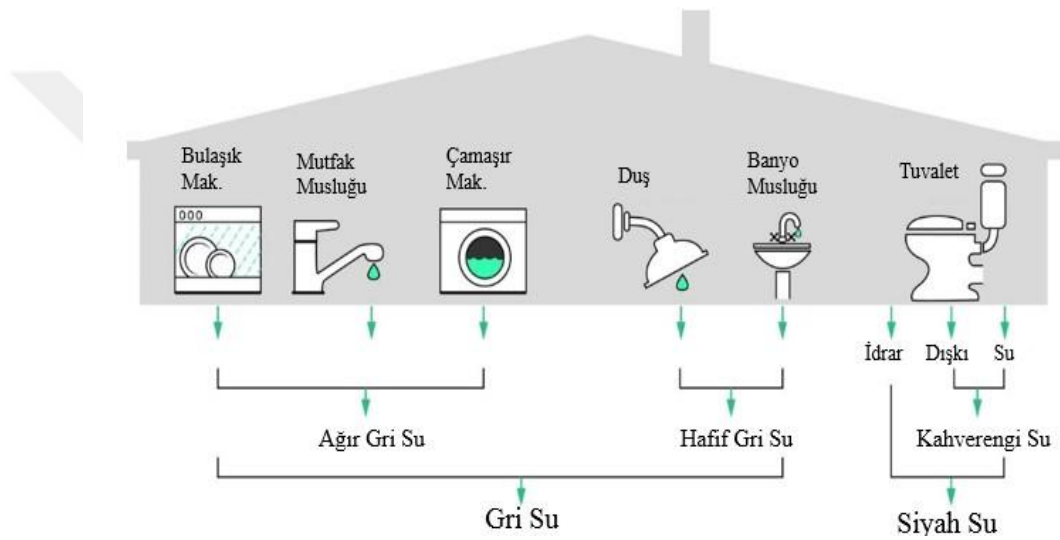
Şekil 3.2. Kıtalarla göre nüfus ve su miktarı yüzdeleri (UNEP, 2009)

Tatlı su mevcudiyeti, dünya nüfus artışı, iklim değişikliği ve endüstriyel süreçler gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Su kaynakları üzerindeki mevcut baskılar, iklim değişikliği ile daha da şiddetlenmektedir (Gosling ve Arnell, 2016). İklim değişikliğinin yağış ve buharlaşma kalıplarını (Tsanis ve ark., 2011) ve dolayısıyla yerel su kapasitesini, nehir deşarjı ve su kaynağının mevsimsel mevcudiyetini etkilemesi beklenmektedir (Arnell ve ark., 2011).

Su kıtlığı ile karşı karşıya kalındığında, düşünülebilecek temel yöntemler su tasarrufu, geri dönüşüm ve tuzdan arındırmadır. Bunlardan, su geri dönüşümü (atık su arıtımı) diğerlerine oranla daha düşük maliyetli olduğundan diğer iki yöntemden daha caziptir. (Dolnicar ve Schäfer, 2009) Küresel olarak, nüfus artışı, ekonomik gelişme ve kentleşmenin genişlemesi nedeniyle üretilen atık su hacmi ve kirletici yükler artmaktadır. Ayrıca, Birleşmiş Milletler Dünya Su Geliştirme Raporu'na göre, dünyadaki atık suların %80'inden fazlası arıtılmadan doğal ortama deşarj edilmektedir. Aynı şekilde, gelişmekte olan ülkelerde, üretilen büyük miktarda atık su, çok az veya arıtımı olmayan en yakın drenaj hattına doğrudan bağlanmaktadır.

3.4. Gri Su

Modern endüstriyel üretimi gerçekleştirmek, biyoçeşitliliği arttırmak, tarımsal sulamayı ve hayvancılığı desteklemek, en önemlisi çevreyi korumak için suya ihtiyaç yaşam oldukça var olacaktır. Suyu talebin fazla olması ve tatlı su mevcudiyeti arasında dengeyi korumak adına alternatif su kaynakları aramak zamanın ihtiyaçlarındandır. Oluşan su sorunlarının üstesinden gelmek için atık suların geri dönüşümü ve yeniden kullanımı dünyada farklı tekniklerle uygulanmıştır.



Şekil 3.3. Evsel gri su ve siyah su gösterimi (Christivo-Boal, 1995)

Atık su çoğunlukla ev veya endüstriyel faaliyetler sonucu üretilir. Evlerden üretilen atık sular gri su ve siyah su olarak sınıflandırılmaktadır. Gri su banyo/duş/küvet, mutfak evyesi, lavabolar, çamaşır makinesi ve bulaşık makinesi gibi stabil ev faaliyetlerinden üretilirken, tuvaletlerden üretilen atık sular siyah su olarak sınıflandırılmaktadır. Bir ev tarafından üretilen gri su miktarı yaşam tarzına bağlı olarak değişir. Şebeke suyunun kalitesine, hane halkının yaşam tarzına ve faaliyetlerine, kullanılan ürünlere ve boru malzemesine bağlı olarak değişmektedir. Gri suyun geri dönüştürülmesinin avantajı, gri suyun düşük konsantrasyonlarda organik kirleticiler ve patojenler içermesi nedeniyle arıtılması nispeten kolay olan, alternatif bir kentsel su kaynağı olmasıdır (Revitt ve ark., 2011). Örneğin gri su,

organik fraksiyonun sadece %30'unu ve besinlerin %9-20'sini içermesine rağmen toplam evsel atık suyun %50-70'ini oluşturmaktadır (Fountoulakis ve ark., 2016).

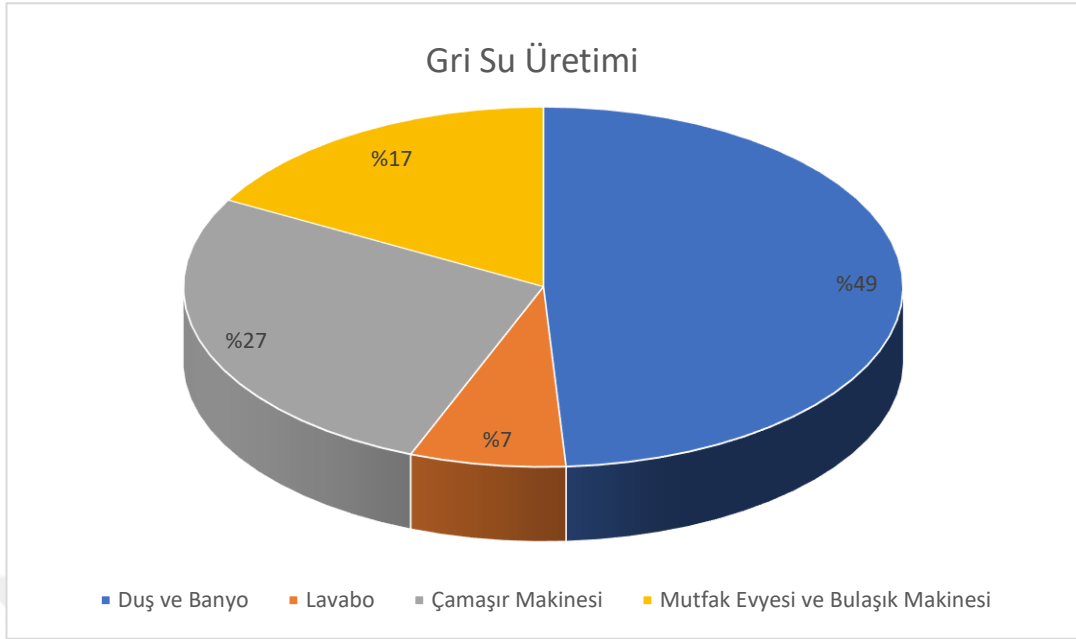
Artan küresel su sıkıntısı nedeniyle gri suyun yeniden kullanımı cazip bir seçenektir. Arıtılmış gri su, yenilebilir ve yenilebilir olmayan ürünlerin sulanması, araba yıkama, tuvalet yıkama, yangın söndürme gibi alanlarda kullanılabilir. Mevcut teknolojiler belirli kirleticileri arıtmak veya uzaklaştırmak için kapsamlı bir şekilde geliştirilmiş olsa da tam bir gri su arıtımı sunmazlar. Ayrıca, kalite kriterleri her uygulama türü için farklılık gösterebilmektedir.

Temel stratejiler ve teknolojiler uygulanmadığında veya düzgün yürütülmediğinde gri su yönetiminin son derece karmaşık hale geldiği gözlemlenmiştir. Birçok gelişmiş ülke, yeniden kullanımdan önce veya son bertarafından önce gri sudaki kirlenmeyi azaltırken gri suyu arıtmak için basit ila gelişmiş yöntemler uygulamışlardır.

3.4.1. Gri su kalitesi

Arıtımı gerçekleştirilmemiş gri su genellikle mikrobiyolojik kirlilik, yüksek düzeyde bakteri, yüksek organik konsantrasyonda değişkenlik içermektedir (Birks ve ark., 2004). Besin açısından zengin ve sıcak oluşu bakteriyolojik büyüme ve mikrobiyal aktivite için ideal bir ortam hazırlamaktadır. (Surendran ve Wheatley, 1998) Gri sudaki organik konsantrasyonun, evsel atık suya benzer olduğu ancak tuvalet suyundan ayrı tutulduğundan askıda katı madde konsantrasyonunun çok daha düşük olduğu gözlemlenmiştir (Jefferson ve ark., 2007). Gri suyun miktarı ve kalitesi temel olarak gri su kaynaklarının hangilerinin kullanıldığından etkilenmektedir. Örneğin, mutfak evyesinden, bulaşık makinesinden veya çamaşır makinesinden gelen atık suyu içerip içermediği gibi (Dixon ve ark., 1999).

Gri suyun uygun su kalitesi standartlarının veya yönergelerinin olmaması, gri su yeniden kullanımını kısıtlamıştır (Lazarova ve ark., 2003). Gri suyun olası kullanımında, insan temasının hangi seviyede olacağı arıtmanın gerekli olup olmadığını doğrular nitelikte olacaktır.



Şekil 3.4. Gri su Üretiminin Göreceli Dağılımı (Edwin ve ark. 2014)

Gri su ile ilgili maruziyet çeşitli yollardan olabilir: Gri suyun arıtımını gerçekleştirmeden sulanan meyve veya sebzeleri yemek veya ham gri su ile fiziksel temasta bulunmak, gri suyun arıtımını gerçekleştirmeden tuvalet sifonunda kullanılması gibi. Örneğin tuvaletin sifonu çekildiğinde, sıçramayla ilişkili bazı sağlık riskleri ortaya çıkabilir (Christova-Boal ve ark., 1995).

3.4.2. Gri su karakterizasyonu

Evsel faaliyetlerden üretilen gri su, genellikle suda bulunan kirleticilere bağlı olarak kategorilere ayrılabilir:

- Az kirli gri sular duş, banyo ve lavabodan gelen atık suları ifade eder. Kirlilik oranı oldukça düşüktür.
- Çok kirli gri su, mutfak ve çamaşır makinesinden gelen atık suları belirtir.

Uygun arıtma ve dezenfeksiyon ile evsel atık su, içilebilir olmayan çeşitli uygulamalar için yeniden kullanılabilir. Az kirli gri su genellikle, uygulamanın doğrudan insan teması olmadan kullanımında ve depolamanın gerekli olmadığı durumlarda yoğun arıtmaya gerek kalmadan yeniden kullanıma uygun düşük kirletici

konsantrasyona sahiptir. Bazı durumlarda az kirli gri su, yalnızca dezenfekte edildikten sonra hem yeraltı sulama hem de tuvalet sifonu için kullanılabilir.

Gri su, insan faaliyetinin olduğu konut, ticari ve endüstriyel binalarda üretilir. Farklı seviyelerde organik ve biyolojik kirleticilerin yanı sıra yağlar, katı yağlar, sabunlar, saç, tiftik, ev temizlik ürünleri ve çeşitli kimyasalları içerir. Gri su üretiminin ana kaynakları şunlardır:

- Banyo gri suyu banyolardan, lavabolardan ve duşlardan gelen atık sudur. Ortalama olarak banyodaki gri su, tipik bir evde kullanılan evsel atık suyun yaklaşık %35-60'ını oluşturur. Banyo gri suyu vücut yağları, üre, dışkı, saç, temizlik ve kişisel bakım ürünlerini içermektedir. Şampuanlar, saç kremleri, saç boyaları, diş macunları gibi ürünler kirletici kimyasallardır. Banyodaki gri su yüksek düzeyde yüzey aktif madde ve bazı düzeylerde dışkı koliformları içermektedir. Banyo veya duştan gelen gri su lavabolardan gelen gri suya kıyasla çok kirli gri su olarak sınıflandırılabilir. Ve bunun sonucu olarak da kalitelerinde farklılıklar oluşmaktadır (Friedler, 2004).
- Çamaşır makinesinden gelen gri su, evsel su kullanımının yaklaşık %13'üne karşılık gelmektedir. Kirli çamaşırların yıkanması neticesinde genellikle tiftik, yağ, çamaşır deterjanları ve dışkı kirleticileri gözlemlenmiştir (Friedler 2004). Banyo atık suyunda olduğu gibi, çamaşır makinesinden gelen atık suyunun kalitesi de yıkama döngüsünden üretilen atık sudan durulama döngüsü sırasında üretilen atık suya göre değişkenlik gösterir (Kaur ve Babu, 2010). Çamaşır makinesi gri suyunun, orta düzeyde anyonik yüzey aktif madde ve dışkı koliformları ile yüksek düzeyde organik kirletici maddelerden oluşması muhtemeldir (Gökmen, 2020).
- Evsel atık suların yaklaşık %9'unu bulaşık makinelerinden ve evyelerden kaynaklanan mutfak gri suları oluşturmaktadır. Mutfak lavabolarından gelen gri su, yağ, gres, gıda parçacıkları ve temizlik ürünleri içerir. Gri suyun bu içeriği hastalığa neden olan mikroorganizmaların büyümesini destekleyen

biyolojik kirleticilerin ve besinlerin çoğuna katkıda bulunmaktadır (Penn ve ark. 2012). Mutfak gri suyu yüksek kirletici yükü nedeniyle, banyo ve çamaşır gri suyuna kıyasla daha kapsamlı bir arıtma yöntemi gerektirebilmektedir.

3.5. Gri Su Kirleticilerinin Birleşimi

Gri su genellikle fiziksel, kimyasal (organik ve inorganik) ve biyolojik bileşimi açısından karakterize edilir (Morel ve Diener, 2006).

Gri suyun ana fiziksel özelliği, çözünmüş, askıda ve çökebilir katılardan oluşmasıdır. Toplam katı maddelerin ana kaynağı mutfak lavabosu ve bulaşık makinesidir. Bunlara mutfak lavabosundan gelen yiyecek parçacıkları ve çamaşır makinesinden gelen saç, tiftik, toprak parçacıkları ve dışkıda dahildir (Eriksson ve ark., 2002). Toplam katılar ayrıca gri suyun bulanıklığını etkilemektedir ve oksijenin tükenmesi nedeniyle anaerobik koşulların gelişmesine yol açabilmektedir. Organik maddenin anaerobik bozunması, hidrojen sülfür ve amonyak gibi kokulu gazların oluşmasına neden olur (Tchobanoglous ve ark., 2003). Askıda katılar önemli oranda organik madde taşır ve bu nedenle gri sudaki organik yükün çoğuna katkıda bulunurlar.

Tablo 3.1.'de mutfak lavabosundan üretilen gri suyun 222 ile 720 mg/L arasında değişen en yüksek toplam askıda katı madde konsantrasyonuna sahip olduğunu gösterirken, banyo gri suyunun 54-200 mg/L arasında çok daha düşük bir AKM konsantrasyonunda olduğunu göstermektedir.

Gri sudaki organik kirleticiler normalde proteinler, karbonhidratlar ve yağların birleşiminden oluşur. Organik kirleticiler sabunlardan, saç kremlerinden, şampuanlardan, parfümlerden, saç boyalarından, ev temizlik ürünlerinden, yemek atıklarından ve deterjanlardan kaynaklanabilir. Organik kirleticilerin birincil kirleticisi, yüksek gıda atığı içeriği nedeniyle mutfak lavabolarından ve çamaşır makinesinden kaynaklanan gri sudur (Almeida ve ark., 1999).

Tablo 3.1. Çok sayıda literatürden elde edilen verilerden derlenen gri suyun karakteristiği (Kaynaklar; Christova-Boal ve ark., 1995; Surendran ve Wheatley 1998; Almeida ve ark., 1999; Nolde, 2000)

Parametre	Birim	Duş	Banyo	Lavabo	Mutfak Lavabosu	Çamaşır Makinesi	Bulaşık Makinesi
Hacim	L	32-95	32-95	1.9-7.9	11.6-27	28-151	22.4
Ph	-	6.4-8.1	6.4-8.2	8.1	7.8	8.1-10	7.8
Bulanıklık	NTU	60-240	-	102	-	108	148
Elektriksel İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	82-250	-	-	-	-	-
AKM	mg/L	119-200	54	181	222-720	65-280	15-440
KOİ	mg/L	280-501	210	95-433	138-1400	700-725	-
BOİ	mg/L	43-216	-	252	530-890	472	390
Fosfor	mg/L	1-5.3	-	13.3-50	10-74	23-200	32
Amonyak	mg/L	0.1	-	0.3-1.15	0.3-6	0-11	4.5
Toplam Kaliform	L/ml	10- 2.4×10^{-7}	-	-	$>2.4 \times 10^{-8}$	200- 7×10^{-5}	-

Organik materyal seviyelerini ve arıtma prosesinin verimliliğini ölçmek için kullanılabilecek analiz yöntemleri, biyolojik oksijen ihtiyacını (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacını (KOİ) ve toplam organik karbonu (TOK) içerir (Eriksson ve ark., 2002).

BOİ, sudaki organik maddeyi biyolojik olarak oksitlemek için mikroorganizmalar tarafından kullanılan çözünmüş oksijenin bir ölçüsüdür. BOİ testinin dezavantajlarından biri, yalnızca biyolojik olarak parçalanabilen organikleri ölçmesidir. Diğer bir dezavantajı ise çözünmüş organik madde için gerekli sürenin doğrulanmamış olmasıdır. Buda, test sonuçlarının doğruluğunu azaltır (Tchobanoglous ve ark. 2003).

KOİ testi, sudaki organik maddeyi kimyasal olarak oksitlemek için gereken oksijen miktarını ölçmek için kullanılır. Elde edilen değer BOİ değerinden daha yüksektir, çünkü kimyasallar tarafından BOİ testinde oksitlenenden daha fazla inorganik bileşikler oksitlenir (Tchobanoglous ve ark., 2003).

TOK testi, suda bulunan organik karbon miktarını belirlemek için kullanılır. TOK testi ile tüm organik ve inorganik bileşikler elektrokimya kullanılarak oksitlenir. BOİ veya KOİ test yöntemlerinden elde edilen değerden daha yüksek olacağı anlamına gelir. TOK testi, BOİ testini doğrulamak için sıklıkla önerilir.

Gri sudaki inorganik bileşenler arasında metaller, gazlar ve besinler bulunur. Amonyak, nitrat, nitrit ve toplam Kjeldahl azotu ve fosfor formundaki azot, gri sudaki tüm önemli mikroorganizmaların biyolojik gelişimi için gerekli besinlerdir. Bu besinler aynı zamanda hızlı oksijen tükenmesi nedeniyle ekosisteme deşarj edildiklerinde çevrede önemli sorunlara yol açabilmektedirler. Gri suda bulunan organik maddenin anaerobik bozunması sonucu metan, amonyak ve hidrojen sülfür gibi gazlar gelişir. Bu gazlar hoş olmayan bir koku yayar, halk sağlığı ve güvenliği için endişe vericidir. Kadmiyum, kobalt, kurşun, selenyum gibi çok küçük metal izleri gri suda da bulunabilir. Bunlar muhtemelen ağırlıklı olarak tesisat sisteminden kaynaklı olabilmektedir (Tchobanoglous ve ark., 2003). Fekal kirleticilerde azot ve fosfor bileşikleri bulunur ve bunların ana kaynakları çamaşır ve bulaşık makineleridir. Evlerde kullanılan su yumuşatıcılar sonucunda da bazı metaller oluşabilir. Klorür, gri suda bulunan diğer bir inorganik bileşendir ve esas olarak ev temizlik ürünlerinin kullanımı yoluyla elde edilir, ayrıca su yumuşatıcılarda ve içme suyunda da bulunur.

Biyolojik kirleticinin kontrolü, patojenlerin neden olduğu su kaynaklı hastalıkların önüne geçilmesinde temel öneme sahiptir. Patojenik organizmalar, belirli bir bulaşıcı hastalığın taşıyıcısı olan hayvanlar ve insanlar tarafından atılabilir. Gri suda bulunabilen patojenik organizma sınıfı bakteri, protozoa, helmintler ve virüslerdir. Bakteriler insan bağırsak sisteminde kolonize olur, evsel atık sulara bulunan en yaygın patojenik bakterilerden biri Salmonella ve bazı durumlarda Clostridium'dur. Tüm bu patojenik organizma formları, insan ve hayvan dışkılarının yanı sıra toprak ve böceklerden kaynaklanabilir. Genellikle gri suda bulunan ılık sıcaklık, bu organizmaların büyümesi için ideal bir koşuldur. Gri suda bulunan patojenik organizmaların sayısı genellikle azdır ve onları izole etmek ve tanımlamak oldukça zor olabilir. Bu nedenle, daha çok sayıda ve test edilmesi daha kolay olan mikro

organizmalar, tipik olarak hedef patojenler için indikatör organizmalar olarak kullanılır. Özellikle fekal kontaminasyon için indikatör olarak kullanılan organizmalar E.coli, toplam koliform , fekal koliform , Klebsiella, fekal streptokoklar, Enterococci, Clostridium perfringens, Pseudomonas aeruginosa ve A. hydrophila'dır (Oki, 2015).

3.6. Evsel Gri Su Kaynağı ve Özellikleri

Tarihsel olarak, gri su bileşenleri evsel atık sularınkilere benzemektedir. (Christova–Boal ve ark., 1995; Eriksson ve ark., 2002; F. Li ve ark., 2009). Bununla birlikte, gri su genellikle daha az patojen içerir. Bu nedenle de ev ortamında geri dönüşüm seçenekleri için çok daha uygundur ve sosyal olarak atıksuya kıyasla daha kabul edilebilir (Pidou ve ark., 2007).

3.6.1. Fiziksel parametreler

Gri suyun fiziksel özellikleri renk, sıcaklık, bulanıklık ve toplam askıda katı maddelerdir. Genel olarak, gri suyun rengi, hane halkı alışkanlıklarına ve kullanımlarına bağlı olarak kaynaktan kaynağa değişmektedir. Sıcaklık coğrafi konum ve su kullanım amacı ile ilgilidir. Ancak çoğu yayında sıcaklık değerlerine bakılmadığı görülmektedir. Örneğin genel hijyende ılık suya ihtiyaç duyulması gibi. Ayrıca, yüksek sıcaklık mikroorganizmaların büyümesine ve üremesine teşvik edebilir (Winward ve ark., 2008). Aşırı doymuş gri suyun yüksek ısınması ayrıca kalsiyum karbonat ve bazı inorganik tuzların varlığına katkıda bulunabilir. Çünkü sudaki çözünürlükleri yüksek sıcaklıklarda azalır (Nghiem ve ark., 2006).

Kolloidler ve partiküller, bulanıklık ve toplam askıda katı madde ölçümleri ile görülebilir. Kolloidler, emülsiyonlar ve jeller gibi diğer maddeler arasında dağılmış, askıda katı maddeler olarak santrifüjleme ile çökmeyen veya ayrılamayan, kristal olmayan, büyük moleküllerin veya ultramikroskopik parçacıkların homojen maddeleridir (Ramprasad ve Philip, 2016). Parçacıklar, mutfak lavabosu, çamaşır makinesi ve çamaşır deşarjlarından gelen gri suda bulunan gıda, kum, toprak, lifler,

Tablo 3.2. Tablo gri su kaynakları ve özellikleri

Gri Su	Olası içerikler (Khalil, 2017)	Karakterler	Kalite (Ludwig,2015)
ÇAMAŞIR	Askıda katı maddeler (kir, tiftik)	Çamaşır makinesinin gri suyu çoğunlukla pamuklu iplik içerir. Yüksek konsantrasyonda katı askıda parçacıklar içereceğinden yüksek BOİ özelliğine sahiptir. Çamaşır suyunun belirli bir sıcaklığı vardır, bu nedenle e. koli varlığından söz edilebilir.	İyi
	Organik madde, Yağ ve gres,		Orta düzeyde kimyasal konsantrasyonu.
	Sodyum, nitratlar ve fosfatlar (deterjanlardan)	Kimyasallar: sodyum, potasyum, alüminyum, azot ve fosfor, sabun tozları	Evde bir bebek varsa, çocuk çamaşırları gri sudaki patojen seviyesini büyük ölçüde değiştirebilir.
BANYO	Bakteriler ve saçlar		
	Organik ve askıda katı maddeler (cilt, partiküller tiftik), Yağ ve gres	Banyodan gelen suyun hacmi çok daha olduğundan kimyasal mikroorganizmaların konsantrasyonu daha düşüktür. Düşük seviye BOİ içerir.	Harika
	Sabun ve deterjan kalıntısı	Kimyasallar: şampuan, sabun, diş macunu ve diğer temizlik ürünleri	Minimum kimyasal konsantrasyonu.
MUTFAK	Bakteriler		
	Gıda kalıntıları	Mutfak suyunda gıda kalıntıları önemli bir etkindir. Yağ gres, yağ, BOİ ve mikroorganizma gibi yüksek organik madde içeriğine sahiptir.	İyi ama hassas arıtmalarda sorun teşkil edebilir.
	Organik maddeler ve askıda katı maddeler Yağ ve gres Deterjan		

Tablo 3.3. Gerçek Gri Suyun Özellikleri

Referans	Gri su Kaynakları	Sıcaklık (°C)	pH	Bulanıklık (NTU)	AKM (mg/L)	Eİ (µS/cm)	ÇO (mg/L)	BOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)
Eriksson ve ark. (2002)	Banyo	29	6.4-8.1	60-240	54-200	82-250		76-200	100-633	≤0.1 ile 15	0.28-6.3	0.94-48.8
	Çamaşır Makinesi	28-32	8.1-10	14-296	120-280	190-1400		48-380	12.8-725	0.04-11.3	0.4-2	4-171
	Mutfak	27-38	6.3-7.4		235-720			1040-1460	368-1380	0.002-23	0.3-5.8	12.7-32
	Karışık Gri su	18-38	5-8.7	15.3 ile ≥200		320-20000	2.2-5.8	90-360	13-549	0.03-25.40	0-4.9	4-68
Ramona ve ark. (2004)	Duş		7.5	23	29.8	1317		78	170	1.5-3	0.05-1.7	0.02-0.19
Nghiem ve ark. (2006)	Gerçek Gri su		5-10.9					33-1460	3.8-1380			
Pidou ve ark. (2008)	Karışık Gri su		6.6-7.6	35				39	144	0.7	3.9	0.5
	Duş		7.3-7.8	42				166	575	1	7.5	1.3
F.Li ve ark. (2009)	Banyo		6.4-8.1	44-375	7-505			50-300	100-633			
	Çamaşır Makinesi		7.1-10	50-444	68-465			48-472	231-2950			
	Mutfak		5.9-7.4	298	134-1300			536-1460	26-2050			
	Karışık Gri su		6.3-8.1	29-375	25-183			47-466	100-700			
Eriksson ve ark. (2010)	Ham Gri su 1		7.7-8.1		51-135		2.5-4.5	18-68		0.36-4.4		0.02-2.20
	Ham Gri su 2		8.2-8.3		67-390		9.3-9.5	≤3		0.07-0.13		0.25-0.28
Houshia ve ark. (2012)	Ham Gri su		6.1			1500		126.6			38	
Leal ve ark. (2012)	Ham Gri su		7.24			74.4			147		≤0.10	2.97

saç ve zeolitler olabilen katı maddelerdir. Gri suyun bulanıklık ve askıda katı madde değerleri evsel atık sudakinden daha düşük olmasına rağmen, geri dönüşüm ve/veya arıtma sistemlerinin tıkanma riski kolloidler ve partiküllerden kaynaklanabilir (Mays ve Hunt, 2005).

Tablo 3.4. Çeşitli kaynaklardan gri suyun fiziksel özellikler (Edwin ve ark., 2014)

Parametre	Musluk Suyu	Duş	Lavabo	Mutfak	Çamaşır Makinesi	Karışık Gri Su
Bulanıklık (NTU)	-	122.67	84.3	347.2	108.6	167.9
TKM (Toplam Katı Madde)	28.7	425.5	450.3	1468.4	586	742.2
AKM (Askıda Katı Madde)	21.1	122.7	89.2	398.7	141.2	190.4
Yağ ve Gres	-	53.2	66.1	232.6	13.4	92.5

3.6.2. Kimyasal parametreler

Şebekeden gelen suyun kalitesi, evsel gri atık suyun kimyasal özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Çamaşır makinesi gri suyunun pH'ı diğer kaynaklara nispeten daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Li ve ark., 2009). Alkalinite ve sertlik içme suyu için önemli bir parametre olarak değerlendirilse de gri su yeniden kullanıldığında veya arıtıldığında sistem aksesuarları için bulanıklık ve askıda katı madde içeriğine benzer şekilde tıkanma sorunları oluşturabilir (Jeppesen, 1996). Sulama için gri su kullanıldığında, gri suyun bitkilere zarar vermemesi için gri suyun pH'ı 6,5 ile 8,4 arasında olmalıdır. Gri suyun toprağa sızması, doğal tamponlanma ve emme kapasitesi gibi toprak özelliklerini değiştirecektir. Ancak suyun kullanımı sırasında eklenen kimyasalların etkisi de önemli ölçüde değişikliklere neden olur.

Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve besin konsantrasyonları (azot ve fosfor) gibi geleneksel atık su ölçümleri de gri su kirlilik riski için diğer göstergelerdir. Su tüketiminin yüksek olduğu bölgelerde, gri suyun KOİ ve BOİ'si daha düşükken, su eksikliği olan bölgelerde KOİ ve BOİ daha yüksektir (Burnat ve Mahmoud, 2005). Geri dönüşüm ve yeniden kullanım amacına

bağlı olarak arıtım parametreleri önemlidir (Pidou ve ark., 2007). Gri sudaki oksijen içeriği de BOİ, KOİ ve çözünmüş oksijenden tahmin edilebilir. Ancak KOİ kirlilik yükü, kişisel hijyen malzemeleri, bulaşık yıkama ve çamaşır deterjanları gibi kullanılan kimyasallardan kaynaklanır.

Atık sudaki oksijen, depolama ve taşıma sırasında organik maddelerin bozunması sırasında organizmalar tarafından tüketilir ve böylece sülfür üretilir bu da oksijen tükenmesine yol açar (Winward ve ark., 2008). BOİ değerinin en yüksek olduğu kaynak mutfak gri suyudur. Yüksek olmasının sebebi gıda parçacıkların varlıklarıdır. KOİ değerinin en yüksek olduğu kaynakta çamaşır makinesi gri suyundan gelen atık sudur. BOİ ve KOİ arasındaki ilişki F. Li ve arkadaşlarının ölçümlerinde çamaşır makinesi gri suyunda BOİ değeriyle KOİ değeri arasında büyük bir fark olduğu gözlemlenmiştir.

Atık sudaki bir besin maddesi olarak azot, genellikle amonyum–azot ($\text{NH}_4\text{-N}$), nitrit–azot ($\text{NO}_2\text{-N}$) ve nitrat–azot ($\text{NO}_3\text{-N}$) cinsinden belirlenir. İdrar, evsel atık sudaki ana azot kaynağı olmasına ve gri suda bulunmaması gerekmesine rağmen, mutfak atık suları gri sudaki azot içeriğinin yükselmesine önemli ölçüde katkıda bulunur (Kariuki ve ark., 2012). Genel olarak, banyo ve çamaşır makinesinden daha düşük nitrojen seviyeleri rapor edilmiştir. (Tablo 2.6.2)

Fosfor reaktif bir elementtir ve hiçbir zaman element halinde bulunmaz. Fosfor su ekosisteminde sadece ortofosfat ve polifosfat gibi beş değerlikli formlarında bulunur. Atık su için, farklı deterjan türleri ile yıkama, gri sudaki birincil fosfor kaynaklarıdır. Kullanılan deterjanlara ek sebzelerin ve diğer gıda parçalarının bozunması, mutfak gri suyunda fosfor ile sonuçlanabilir.

Gri su için tüm fiziksel ve kimyasal değerlerde belirgin bir eğilim olmadığı fark edilebilir. Bu, esas olarak gri suyun çıktığı kaynağa bağlanmaktadır. Örnek vermek gerekirse, mutfak suyu gri su akışına dahil edildiğinde değerler önemli ölçüde değişmiştir. Ölçümlerde gri suyun kaynağı farklılık göstermiştir. Bu da parametre değerlerinin önemli ölçüde değişmesine neden olmuştur.

Farklı coğrafi bölgelerdeki su kullanım yerleri, gri su kalitesinin değişkenliğinde önemli bir rol oynamaktadır. Örneğin, Ürdün'de tatlı su tüketiminin 14 L'den az olduğu bir marjinal alanda gri su kalitesini incelemiş ve sonuç olarak organik içeriğin (KOİ) 2568 mg/L'ye ulaştığını belirtmişlerdir. Öte yandan İsveç'te gri su akışının 71 L olduğunda KOİ seviyesinin 588 mg/L'yi geçmediğini bildirmiştir.

Tablo 3.5. Çeşitli kaynaklardan gri suyun kimyasal özellikleri (Edwin ve ark., 2014)

Parametre	Musluk Suyu	Duş	Lavabo	Mutfak	Çamaşır Makinesi	Karışık Gri Su
pH	7.1	7.4	7.2	6.9	9.1	7.7
BOİ	226.6	135	138.7	932.4	186.5	290.6
KOİ	-	357.9	340.5	1122.8	1545.8	911.9
TOK (Toplam Organik Karbon)	-	65	6.8	542	189.2	217.1
ÇO (Çözünmüş Oksijen)	69.4	-	-	3.9	-	1
Amonyum (NH ₄ -N)	-	1.4	0.6	5.4	3.7	2.8
Nitrit (NO ₂ -N)	-	-	-	1.6	0.2	0.46
Nitrat (NO ₃ -N)	-	0.11	0.06	1.2	0.3	0.4
Toplam Kjeldahl	1.9	9.7	9.3	23.6	21	16.1
Fosfat (PO ₄ -P)	0.03	11.3	14	26	37.8	22.6

3.6.3. Mikrobiyolojik parametreler

Gri sudaki mikroorganizmalar, insanlarda hastalığa neden olma riski oluşturabilecek patojenik bakteriler, protozoa ve parazitleri içermektedir. Gri su siyah su içermemesine rağmen, yine de dışkı mikropları bulunabilir. Gri suyun ana tehlikeleri,

normalde dışkıyla kontamine olmuş giysilerin yıkanmasından, çocuk bakımından ve çiğ etlerin yıkanmasından kaynaklanabilmektedir. Mutfak gri suyu, kolayca biyolojik olarak parçalanabilen organik maddenin ana kaynağı olduğu için gri sudaki dışkı yüküne katkıda bulunabilir.

Yüksek sayıda bakteri, insanların gri su ile teması sonucunda enfeksiyona bağlı hastalığı meydana getirir. Gri su kullanılmadan önce mikrobiyal hastalık riski en aza indirmelidir. Gri suya doğrudan dışkı maddesi veya idrar olmamasına rağmen, dışkı mikroorganizmaları mevcut olabilir. Özellikle evde çocuk varsa çamaşır gri suyundaki dışkı mikroorganizmalarının sayısı yüksek olabilir. Bebek bezi değiştiren ebeveynlerin ellerine de dışkı bulaşabilir lavaboda ellerini yıkarken dışkı bakterisi gri suya dahil olabilir.

Tablo 3.6 Çeşitli kaynaklardan gri suyun mikrobiyolojik özellikleri (Edwin ve ark., 2014)

Parametre	Musluk Suyu	Duş	Lavabo	Mutfak	Çamaşır Makinesi	Karışık Gri Su
Toplam Kaliform	1.72-1.87	3.95-6.28	2.94-6.95	3.38-5.11	3.04-5.6	6.99-7.71
E.coli	0.85-1.15	2.98-3.06	2.81-2.95	-	-	3.54-6.3

3.7. Gri Suların Yeniden Kullanımı ve Yönergeler

Su kıtlığı ve doğal su kaynaklarının tükenmesi, dünyanın birçok bölgesini alternatif su kaynaklarının kullanımını düşünmeye zorlamıştır (Spychala ve ark., 2019). Atık su ve gri su geri dönüşümü, su kaynakları portföylerini desteklemek için dünya çapında uygulanan gelişmekte olan bir stratejidir (Etchepare ve Hoek, 2015).

Suyun yeniden kullanımı için faktörler (Zadeh,2013):

- Tatlı su talebinin artması; bu, genel olarak gelişmekte olan ülkelerde en yaygın itici güçtür. Nüfus ve endüstriyel büyümeyi sürdürmek için atık suların yönetilmesi gerekir.

- Su temini; özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde tarımsal ve ekonomik faaliyetlerin devam etmesi için suyun yeniden kullanımı hayati önem taşımaktadır.
- Çevre koruma; özellikle atık su deşarjının yoğun olduğu ülkelerde, örn. Avustralya ve Avrupa.
- Halk sağlığı ve politika endişeleri; suyun yeniden kullanımı projelerinin uygulanmasında giderek daha önemli hale gelmektedir.
- Karşılabilirlik ve pratiklik; suyun yeniden kullanımının yerel bir çözüm olması.

Yerinde gri su arıtımı ve yeniden kullanımı, özellikle kurak ve yarı kurak alanlar gibi su sıkıntısı çeken bölgelerde tüm dünyada artan bir ilgi görmektedir. Gri su arıtımında kullanılan teknolojiler arasında fiziksel, kimyasal, biyolojik ve doğal sistemler veya bunların kombinasyonları bulunmaktadır (Boyjoo ve ark. 2013). Fiziksel arıtım katıları, organikleri ve yüzey aktif maddelerini temizler, biyolojik arıtma patojeni ortadan kaldırırken, kimyasal arıtma suyu güvenli kullanım için dezenfekte eder (Ghunmi ve ark., 2011). Gri su geri dönüşümünün birçok avantajı olsa da sınırlamaları, gri su miktarı ve kalite özelliklerindeki büyük değişkenlik alternatif bir su temini kaynağı olarak kullanımını sınırlamaktadır. Gerekli arıtma derecesi, atık su özellikleri ve yeniden kullanım uygulaması ile belirlenir.

Çeşitli uygulamalar açısından, geri kazanılmış gri su, güvenli ve sürdürülebilir yeniden kullanımını sağlamak için uygun su kalitesi standartlarını veya kılavuzlarını karşılamalıdır (Al-Gheethi ve ark., 2016). Gri su arıtma teknikleri dört kriteri karşılamalıdır: hijyenik güvenlik, estetik, çevre toleransı ve teknik-ekonomik fizibilite. Gross ve ark. (2007) gri su geri dönüşüm sistemlerinin önemli yönünün sistemlerin ucuz olması ve basit ekipmanlar tarafından kolayca sürdürülebilir olmasını beşinci ana kriter olarak saymışlardır.

Gri suyun yeniden kullanımına olan son çalışmalar, merkezi olmayan gri su arıtımının ev, mahalle veya topluluk içinde gerçekleştirildiği küçük ölçekli ve yerinde arıtmaya yönlendirilmiştir . Naylor ve ark. (2012), gri su yeniden kullanım

sistemlerinin yağmur suyu hasadı ile karşılaştırıldığında bazı önemli dezavantajlara sahip olduğunu bildirmiştir. Bunun temel nedeni, daha fazla miktarda proses ekipmanı ünitesine sahip gri su arıtma sistemlerinin karmaşıklığından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, gri suyun yeniden kullanımını teşvik etmek için kullanımı ve bakımı kolay, düşük maliyetli ve sürekli olarak kaliteli atık su çıkışı sağlayan gri su arıtma sistemlerinin geliştirilmesine ihtiyaç vardır (Santos ve ark., 2012).

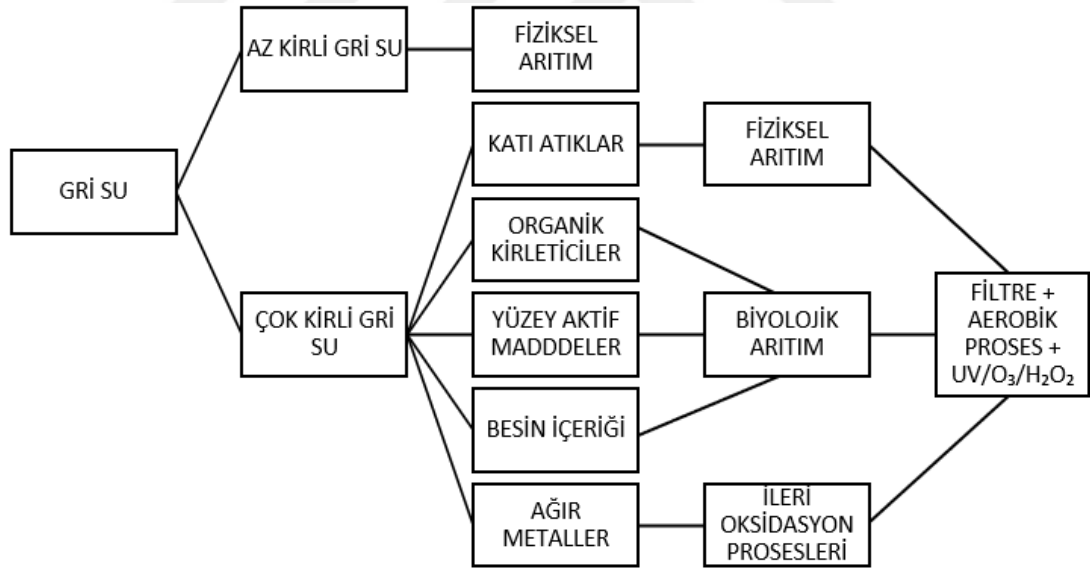
Avrupa Komisyonu'nun bir çalışmasında, gri suyun yeniden kullanımının ve yağmur suyu hasadının teşvik edilmesinin, içme suyu kullanımının 2050 yılına kadar %5 oranında gözle görülür bir şekilde azalmasına neden olabileceğini belirtmektedir.

Gri su geri dönüşümü çeşitli avantajlar sunmaktadır. Arıtılmış gri suyun yeniden kullanılması sadece su kaynaklarını korumakla kalmaz, aynı zamanda su temini maliyetlerini düşürür. Su ekstraksiyonu ve atık su arıtmanın olumsuz etkilerini ve maliyetlerini en aza indiren merkezi atık su arıtma sistemleri üzerindeki yükü azaltır böylece su sürdürülebilirliğinin sağlanmasına yardımcı olur (Santos ve ark., 2014). İçme suyu tüketiminin yaklaşık %25-30'unun gri suyun yeniden kullanılmasıyla azaltılabileceği bildirilmektedir (Vuppaladadiyam ve ark., 2018). Dünyanın su kıtlığı çeken birçok bölgesinde, hükümet mevzuatları yeni inşa edilen binalar için gri su geri dönüşümünü zorunlu hale getirmiştir (Shaikh ve Ahammed, 2020).

Atık suyun yeniden kullanımının, özellikle gri suyun en yaygın içilebilir olmayan uygulamaları, tarım, endüstriyel, kentsel ve çevre sektörleridir. Tuvalet yıkama, çim sulama, spor alanları, mezarlıklar, parklar ve golf sahaları ile ev bahçelerinin sulanmasında kullanılır. Araçların ve pencerelerin yıkanması, yangından korunma, kazan besleme suyu ve beton imalatları, önerilen diğer yerinde kullanım örnekleridir (Pidou ve ark., 2008). Gri su Avustralya, Suriye ve Güney Afrika'da bahçe ve peyzaj sulamada, İsrail de ise meyve ağaçlarını sulamada doğrudan kullanılmaktadır (Boyjoo ve ark., 2013).

3.8. Gri Su Arıtma Teknolojileri

Gri su arıtma sisteminin tasarımı, saha koşullarına ve gri su özelliklerine göre değişmektedir. Gri su arıtma teknolojileri, gri su girişindeki organik ve patojen konsantrasyonundaki değişiklikleri kaydetmek ve yeniden kullanım için gerekli standartları karşılamak, sürekli olarak uygun ve güvenli kalitede su çıkışı sağlamak için sağlam yapıda olmalıdır (Winward ve ark., 2008). Gri su, gerekli kalite standartlarını karşılayacak şekilde arıtılması şartıyla herhangi bir amaç için kullanılabilir (Liu ve ark., 2010). Bununla birlikte, su kalite standardı ve talep edilen kullanım alanı arıtım içeriğini etkilemektedir. Su geri dönüşüm standartlarının eksikliği hem karmaşıklık hem de performans açısından büyük farklılıklar gösteren çok sayıda teknolojinin önerilmesine ve geliştirilmesine katkıda bulunmuştur. Gri su arıtımı ve yeniden kullanımı için çeşitli teknolojiler kullanılmıştır ve geliştirilmektedir. (Pidou ve ark., 2007)



Şekil 3.5. Gri su arıtım teknolojileri (Kurniawan ve ark., 2021)

Aşağıda gri su arıtma tekniklerinin kısa bir açıklaması bulunmaktadır.

- Basit arıtım

Basit arıtma teknolojileri genellikle iki aşamalı sistemlerdir; ilk aşama, kaba filtrasyon veya çökeltme yoluyla büyük katıların uzaklaştırılması, ikinci aşama ise dezenfeksiyondur (Jefferson ve ark., 2001). Basit sistemler, kurulumu ve çalıştırılması nispeten ucuz ve kullanımı kolay olduğu için Birleşik Krallık'ta evde yeniden kullanım için kullanılan en yaygın arıtma teknolojisidir.

- Kimyasal arıtım

Gri su için kimyasal işlemlerin çoğu, foto katalitik, pıhtılaşma ve iyon değişimini, ardından filtrasyon veya dezenfeksiyonu içerir (Pidou ve ark., 2007).

- Fiziksel arıtım

Gri su için fiziksel arıtma seçenekleri, dezenfeksiyonlu/dezenfeksiyonsuz kum filtreleri veya membranlardır. Kum filtreleri, basit teknolojilere çok benzer ve ardından dezenfeksiyon yapılmasına rağmen, gri su için gerekli arıtımı sağlamaz. Literatürde fiziksel arıtma seçeneklerinin gri sudaki organikleri, besin maddelerini ve yüzey aktif maddeleri azaltmak için yeterli olmadığını göstermektedir. Bu nedenle, gri su geri dönüşümü için tavsiye edilmezler (Liu ve ark., 2010). Özellikle uzun depolama sürecinin sonunda arıtım gerçekleşecekse (Winward ve ark., 2008).

- Biyolojik arıtım

Gri suyun özelliğine göre biyolojik arıtmalar en uygun arıtma teknolojileridir. Ancak, yüksek enerji talepleri ve işletme maliyetini artıran kirlenme sorunları vardır. Biyolojik aşamaya sahip tüm yöntemler, yüksek organik ve katı giderimi ancak düşük organizma giderimi sağlayabilir (Pidou ve ark., 2007). Literatürde arıtma verimliliğine göre biyolojik arıtım , fiziksel ön arıtım veya dezenfeksiyon gibi işlemler çalışmalar arasında en çok tercih edilenlerdir.

Gri suyun geri kazanılmasında önemli arıtma konfigürasyonları Membran Biyoreaktörler(MBR), Döner Biyolojik Diskler (DBD), Ardışık Kesikli Reaktörler(AKR), Yapay sulak alanlardır.

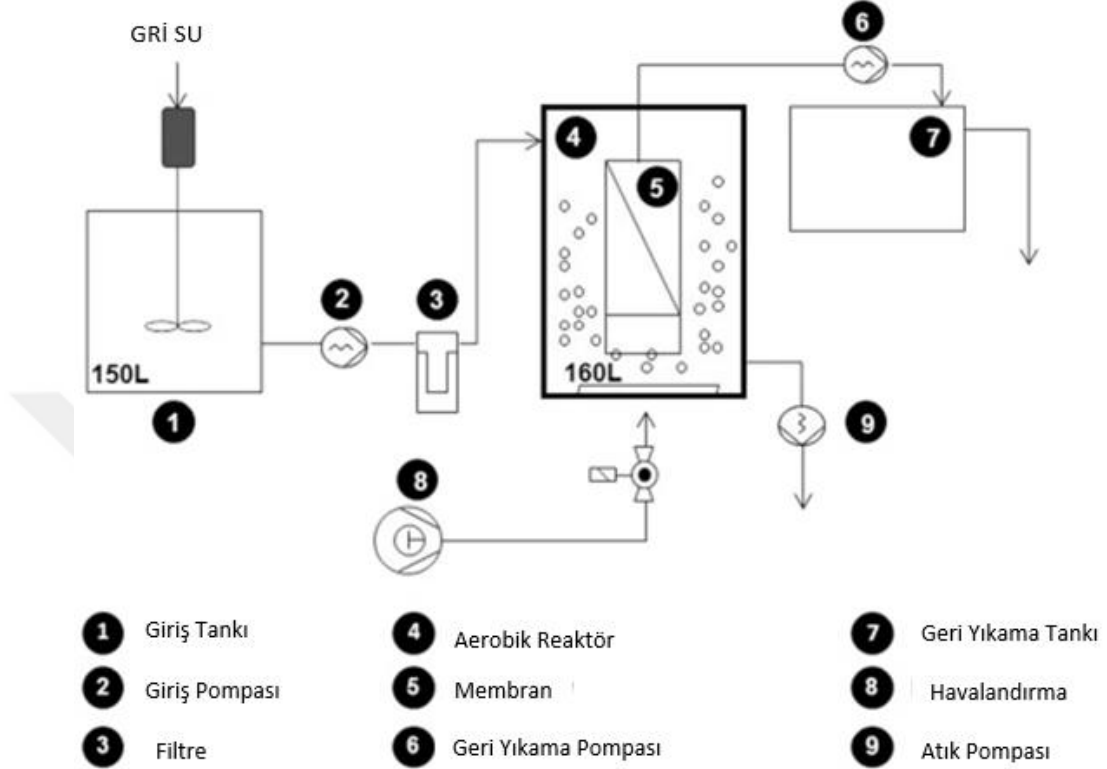
3.8.1. Membran biyoreaktör

Membran biyoreaktör (MBR) teknolojisine dayanan gri su arıtmaları, küçük ayak izi, stabil sonuçları, kullanılabilir çıkış suyu ve sistemin girişindeki gri su bileşimindeki değişikliklere karşı sağlamlığı ile bilinen bir teknolojidir (Judd, 2010). MBR'ler, organik maddelerin, yüzey aktif maddelerin ve mikrobiyal kontaminasyonların filtrasyon ve dezenfeksiyon sonrası bir arıtım olmadan tatmin edici bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlayan kentsel alanlardaki bina grupları için cazip bir yöntemdir (Li ve ark., 2009). MBR arıtım teknolojisinin gri su yeniden kullanım amacıyla tasarlanması, gri su ayırma sisteminin ve teknolojinin kurulmasıyla gerçekleşir. Fakat MBR maliyeti fazladır. Bunun nedeni büyük ölçüde uygulama ölçeğine ve kurulum maliyetine bağlıdır. Diğer küçük ölçekli biyolojik arıtma tesisleriyle karşılaştırıldığında, MBR fiyatlandırmanın üst sınırındadır.

MBR'lerin yüksek maliyetlerinin asıl ana nedeni, havalandırma için daha yüksek sarfiyat ve dolayısıyla enerji talebi ile membranların kirlenmesidir. MBR'lerdeki enerji tüketiminin %50'sinden fazlası, membranların kirlenmesini önlemek için hava taramasına gitmektedir (Krzeminski ve ark., 2012). Geri dönüşümlü kirlenme havalandırma ile, geri dönüşümsüz kirlenme kimyasal yöntemlerle giderilebilir. Herhangi bir yöntemle giderilemeyen bazı kirlenmeler membran gözeneklerini bloke ederek ve membran direncini artırır (Judd, 2010).

Atanasova ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada MBR gri su yeniden kullanım sistemini tasarlamışlardır. İspanya'daki yeniden kullanım koşulları su ve enerji fiyatları dikkate alınarak, çeşitli büyüklükteki oteller için optimize edilmiştir. Bunu yapmak için, çalışmayı izlemek ve gelişmiş hava temizleme kontrol sistemi kullanarak enerji tüketimini optimize etmek için duşlardan gelen gri suyu ayrı toplayan bir otele gri su arıtımı için pilot bir MBR yerleştirmişlerdir. Altı aylık

deneysel çalışmadan elde edilen veriler, bir tasarım ve ekonomik model oluşturmak için MBR sisteminin İspanya gibi kentleşmiş turistik alanlar için ekonomik olarak uygun olabilirliğini kanıtlamada kullanmışlardır.



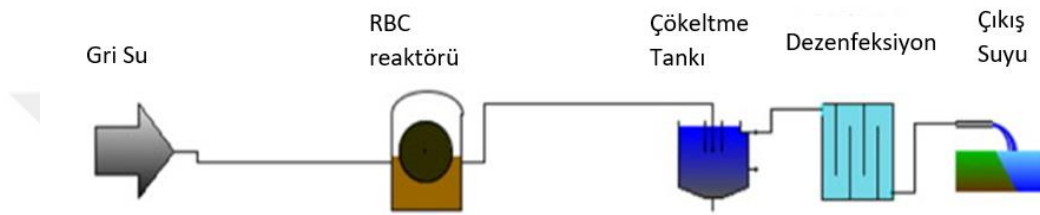
Şekil 3.6. MBR pilot tesisin şeması (Atanasova ve ark., 2017)

MBR orta ve yüksek yoğunluklu gri su geri dönüşümü için umut verici bir teknoloji olmuştur. Bu nedenle de gri su giriş kalitesi değişimleri çıkış suyu kalitesini etkilememiştir. KOİ gideriminde %90 verim sağlamıştır. Mikrobiyolojik kontaminasyon ile ilgili olarak MBR, geri kazanılan suyun nihai kullanımına bağlı olarak dezenfeksiyonun hala gerekli olduğunu gösteren 3-5 patojen mevcudiyetini başarıyla kaldırmıştır.

3.8.2. Döner biyolojik diskler

Az miktarda enerji kullanımı, kısa hidrolik bekleme süresi ve düşük işletme maliyeti gerektirmektedir. Proses kontrolüne sahiptir, çamur üretimi düşüktür ve çeşitli akışları idare etmektedir (Chan ve ark., 2009). Geniş debi aralıklarında kullanılabilir. DBD sistemi kum filtrasyon ve klorlama arıtmaları sayesinde

içme suyu olmayan yeniden kullanım standardını karşılayan çıkış suyu üretmektedir (Friedler ve ark., 2005). Döner biyolojik , biyolojik büyüme ile aşırı biyokütle giderim hızının dengede olduğu bir tam karışım, sabit film reaktörü olarak işletilir. Biyodisk üniteleri birbirine seri şekilde bağlanır ve atıksuyun bir reaktörden bir diğerine geçmesi sağlanır. Küçük sistemlerde akışa paralel olarak DBD sürücü saflar disklerden perdelerle ayrılırken daha büyük sistemlerde yan yana ya da arka arkaya yerleştirilir. Düşük çıkış substrat konsantrasyonu ve yüksek özel madde giderimi arıtımın amacıdır (Polat, 2008).



Şekil 3.7. DBD pilot tesisinin şeması (Abdel- Kader, 2013)

Abdel-Kader (2013), tasarladığı DBD ünitesinde arıtımını sağlamak için lojmanlardan alınan gri suyu kullanmıştır. Kullandığı suda mutfaktan gelen gri sularda mevcuttur. Gri su öncelikle 1 cm'lik kaba bir elekten geçirilmiş sonrasında 3 mm boyutunda elek ile donatılmış bir dengeleme havzasına geçmiştir. Düşük, orta ve yüksek gri su konsantrasyonları, 10 aylık işletme dönemi boyunca DBD pilot tesisi için giriş atık suyu olarak kullanılmıştır. Kaba elekten geçirilmiş gri suyu DBD tankına pompalamak için peristaltik pompalar kullanılmıştır. DBD ünitesi için 400 L/g debi uygulanmıştır. Sıcaklık giriş ve çıkış sularında 22 °C olarak ölçülmüştür. Yeniden kullanımdan önce DBD ünitesinden arıtılmış gri su UV dezenfeksiyon işlemine tabi tutulmuştur. Gri suyun yeniden kullanılabilirliğini değerlendirmek için BOİ, AKM, TKN, toplam kaliform ve bulanıklık haftalık olarak test edilmiştir. Proses kontrolü amacıyla toplam fosfor değerlendirilmiştir. Gözlemlenen parametrelerin analizi standart yöntemlere uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak DBD sistemi dezenfeksiyon ünitesinden çıkan gri su birçok yeniden kullanım alanında tercih edilebilir. Sürekli olarak yeniden kullanım

için dezenfeksiyondan önce kum filtrasyon ünitesinin eklenmesi şiddetle tavsiye edilmiştir. Diğer teknolojilere kıyasla DBD sisteminin enerji gereksinimi daha düşüktür. Arıtım verimliliği açısından BOİ giderimi %93-96, AKM giderimi ise %84-95 aralığında değişmektedir.

Tablo 3.7. DBD pilot tesisi için giriş gri su karakteri (Abdel-Kader, 2013)

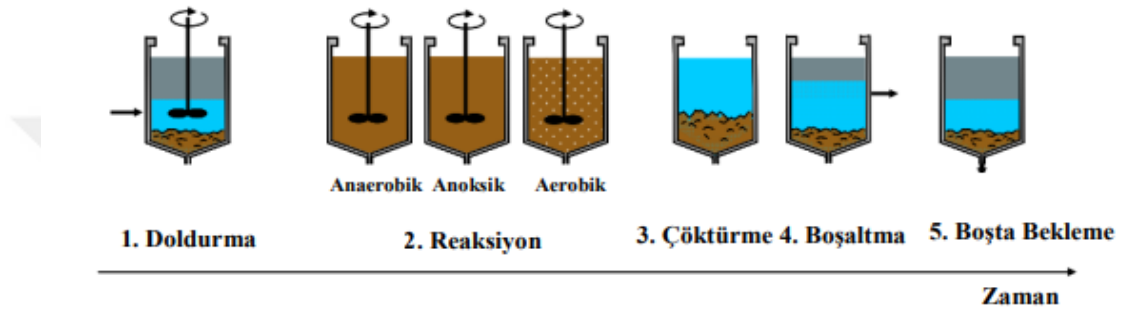
Parametre	Düşük Konsantrasyon	Orta Konsantrasyon	Yüksek Konsantrasyon
pH	6.9 ± 0.5	7.1 ± 0.5	7.4 ± 0.5
KOİ (mg/L)	179 ± 18	347 ± 35	525 ± 5
BOİ (mg/L)	72 ± 7	119 ± 12	182 ± 18
BULANIKLIK (NTU)	39 ± 3	103 ± 10	254 ± 25
AKM (mg/L)	28 ± 3	79 ± 8	146 ± 14
TKN (mg/L)	2 ± 0.2	8 ± 0.8	13 ± 1.2
NH ₄ -N (mg/L)	0.6 ± 0.06	2.2 ± 0.2	5.5 ± 0.5
NO ₃ -N (mg/L)	0	0	0
TP (mg/L)	3.7 ± 0.3	9.8 ± 0.9	14.6 ± 1.4

3.8.3. Ardışık kesikli reaktörler

Ardışık kesikli reaktörler, tek bir reaktörde havalandırma ve tam karışım sağlamaktadır. Evsel atık su ve gri suyun arıtımında en sık kullanılan biyolojik arıtım teknolojisidir. AKR sistemleri, ikincil arıtımın yokluğu nedeniyle küçük ayak izi ile substratların tek bir üniteye çıkarılmasına olanak sağladığından avantajlıdır (Arrojo ve ark., 2004). Organik karbon ve nütrient gideriminde en yaygın kullanılan reaktördür. AKR sistemleri aşırı yüklenen organik maddelere karşı dirençlidir. Tüm bunlara ek yüksek biyokütle konsantrasyonu, hızlı çökeltme ve düşük çamur hacim indeksi gibi farklı niteliklere sahiptir (Adav ve ark., 2008).

AKR ünitesinin çalışma prensibinde mikrobiyal büyümeyi gerçekleştirmek için gri su havalandırılır. Gri su hava ile çalkalandığında, organizmalar aktif bir çamur

oluşturmak için topaklaşır (Khalil ve Liu, 2021). Topaklaşan çamur dibe çöker ve arıtılmış su üste çıkar. Arıtma döngüsü, nitrifikasyon, denitrifikasyon ve biyolojik fosfor giderimi dahil olmak üzere biyolojik besin giderimi sağlamak için aerobik, anaerobik ve anoksik koşullara ayarlanabilir (Kolecka ve ark., 2020). AKR’de uygulanan kolay ve esnek işletimde %90’dan fazla toplam azot giderimi, %25 havalandırma maliyeti tasarrufu, yüksek çamur yaşı ile az, spesifik ve iyi çökebilir çamur oluşumu elde edilir (Singh ve Srivastava, 2011).



Şekil 3.8. AKR sisteminin işletimi (Vives Fabregas, 2004)

Khondabi ve ark. (2018), banyo gri su arıtımını sağlamak için 12 L ($40 \times 20 \times 20$ cm) çalışma hacmine sahip laboratuvar ölçeğinde dikdörtgen bir AKR reaktörü kullanmıştır. Havalandırma, 5 L/dk debiye sahip 12 adet difüzör ile gerçekleştirilmiştir. Girişte KOİ 385 mg/L, BOİ 170 mg/L olarak ölçülmüştür. Çıkışta KOİ 19,25 mg/L, BOİ 8,5 mg/L konsantrasyonları elde edilmiştir. Verim KOİ için %93, BOİ için %95 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, gri sudan deterjan gideriminde yüksek verim elde edilmiştir. AKR sistemleri deterjan gibi kirleticilerin giderilmesinde büyük bir yeteneğe sahiptir. Sistem bunu gerçekleştirirken de atık su deşarjı standardına yakın sonuçlar vermiştir.

Jamrah ve ark. (2007), evsel atık suyun arıtımında AKR sitemini kullanmışlardır. 25 L ye sahip tezgâh üstü AKR tasarlanmıştır. Gri su, değişken akış hızına sahip bir hava pompası kullanılarak sistem beslenmiştir. Difüzör taşlı bir hava pompası kullanılarak sisteme dağınık hava sağlanmıştır. Biyolojik katıları süspansiyonda tutmak için hava aparatının mekanik bir mikseri tarafından hafif ve yeterli karıştırma sağlanmıştır. Çalışma, KOİ ve askıda katı madde için optimum koşulların sağlanması

için dolum ve reaksiyon süresinin 5 saat olduğunun sonucuna varılmıştır. (Dolum süresi 2 saat reaksiyon 3 saat) Genel olarak KOİ giderim verimi %66 ila %94 arasında askıda katı madde gideriminde elde edilen verim %84 ila %100 arasında hesaplanmıştır. Yapılan bu çalışmadan elde edilen genel sonuç ise AKR sistemlerinin gri su arıtımda kullanılabilir olduğudur.

Lamine ve ark. (2007), duştan gelen gri suyu tedavi etmek için AKR sistemini kullanmışlardır. Reaktörün çapı 19 cm, toplam hacmi 11 L ve çalışma hacmi 5 L'dir. Reaktörün dibine yerleştirilen bir hava taşından hava akımı 5 L/dk) sağlanmış, komple karıştırma için mekanik bir karıştırıcıyla çalıştırılmıştır. AKR operasyonları beş faza ayrılmış bu aşamalar: dolum, reaksiyon, havalandırma ve atık su deşarjı olmuştur. KOİ 102 mg/L'den 12-20mg/L'ye düşürülmüştür. BOİ 97 mg/L düşürülmüştür. $\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonu 6,7 mg/L sırasıyla 6,2-0,3 mg/L'ye düşürülmüştür.

Tablo 3.8. AKR çıkış suyu karakteri (Lamine ve ark., 2007)

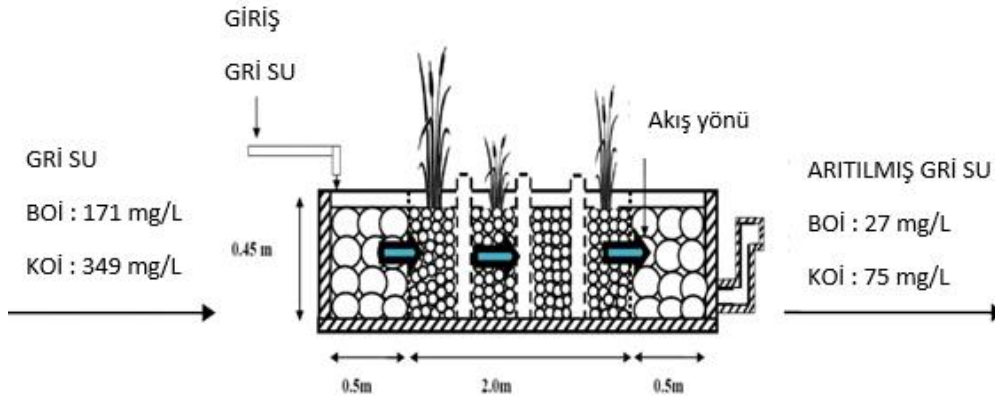
Parametre	Hidrolik bekleme süresi (0.6 gün)			Hidrolik bekleme süresi (2.5 gün)		
	min.	ort.	max.	min.	ort.	max.
AKM(mg/L)	16	23	38	16	23	40
KOİ(mg/L)	10	12	25	16	20	38
BOİ(mg/L)	6	7	15	6	7	16
$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg/L)	4.8	6.2	10.3	0.6	0.3	0.9
$\text{NO}_2\text{-N}$ (mg/L)	0.1	0.1	0.2	0.1	0.05	0.1
$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L)	6.2	5.4	6.5	5.6	10	16
$\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/L)	7.8	8.7	17.6	2.3	4.9	5.9

Gabarro ve ark. (2013), bir spor merkezinden elde edilen gri suyun AKR sistemi ile arıtımını gerçekleştirmişlerdir. Kullanılacak gri su spor merkezinin duş kısmından gelen gri su olduğu için zayıf karakterli gri su olarak nitelendirilmiştir. 500 L kapasiteli iki tank kullanılmıştır. Kullanılan tanklardan biri atık su arıtma tesisi çamuruyla beslenmiştir. Yapılan bu biyolojik arıtım sonrası %60 organik madde giderilmiş ve %89 amonyum oksidasyon elde edilmiştir. Düşük seviyeli C:N oranı denitrifikasyon işlemini sınırlandırmıştır. Nitrojen konsantrasyonu dış organik madde

eklenerek azaltılabilir. Genel sonuç olarak yüksek kaliteli kullanılabilir su elde edilmiştir.

3.8.4. Yapay sulak alanlar

Bu doğa temelli çözüm en yaygın olarak merkezi arıtma sistemleri olmayan topluluklarda inşa edilmektedir (Lakho ve ark., 2020). Yapay sulak alanlar dünya çapındaki uzak topluluklar için çevresel ve ekonomik olarak uygulanabilir bir seçenek olarak kabul edilmektedir (Vymazal, 2010). İnşa edilen sulak alanlar, belediye atık suyu, yağmur suyu ve endüstriyel atık su gibi farklı atık su türlerinin arıtılması için yaygın olarak başarıyla uygulanmıştır (Ramplarasad ve Philip, 2016). Organik türlerin ve biyolojik organizmaları azaltmak için ekonomik ve enerjik olarak verimlidir bu da içilemez yeniden kullanım gereksinimlerinin karşılanmasına izin vermektedir (Collivignarelli ve ark., 2020). İnşa edilen sulak alanlar, nemli alanlara özgü yerel türlerle ekilen ve dekontaminasyon işlemlerinin su, katı substratlar, mikroorganizmalar, bitki örtüsü ve hatta fauna arasındaki etkileşimler yoluyla gerçekleştiği sığ lagünlerden veya kanallardan oluşur (Serrano ve Hernandez, 2008). Yapay sulak alanlar, askıda katı maddelerin (AKM), biyolojik oksijen ihtiyacının (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacının (KOİ), ağır metallerin ve besin maddelerinin giderimine ek olarak patojenlerin, farmasötik ve kişisel bakım ürünlerinin giderilmesinde de etkilidir. Geçmişte, yatay akış, dikey akış, hibrit akış, yüzey akışı ve yüzey altı akışı gibi farklı sulak alan sistemleri kullanılmıştır. Yatay akış sistemi, atık suyun gözenekli ortamlar aracılığıyla yatay yolda girişten çıkışa aktığı, dikey akış sisteminde ise atık suyun yatağın üstünden beslendiği ve gözenekli yataktan aşağı aktığı ve bir çıkış tahliyesinde toplandığı sistemdir. Sulak alanların çeşitli konfigürasyonları arasında, dikey yapılı sulak alanların, organik madde konsantrasyonunu ve gri sudan asılı katı maddeleri azaltmada en etkili olduğu bildirilmiştir (Arden ve Ma, 2018). Bununla birlikte, mikrobiyal kontaminasyonun azaltılmasında sınırlı verimlilik sunarak, nispeten yüksek yoğunlukta termotoleranslı koliform içeren atık sular üretmektedir.



Şekil 3.9. Yapay sulak alan (Nurmahomed ve ark., 2022)

Ramprasad ve Philip (2016), gri suyun arıtılması için pilot ölçekli yatay ve dikey akışlı inşa edilmiş sulak alan sistemleri üzerinde çalışma yapmışlardır. Pilot tesisler, bir öğrencinin pansiyonunda üretilen 2,5 m³ /gün gri suyu arıtmak için tasarlanmıştır. Gri su, yatay ve dikey akışla inşa edilmiş sulak alanlara (10,1m*2,55m*1,2m) girmeden önce bir ön arıtma (çökeltme tankı) ünitesinden geçmiştir. Dikey akış sisteminin, yatay akış sistemine kıyasla kirleticilerin arıtılmasında daha verimli olduğu bulunmuştur.

Tablo 3.9. Yatay akışlı ve dikey akışlı yapay sulak alan çıkış suyu parametreleri (Ramprasad ve Philip, 2016)

Parametre	Ham Numune	Yatay Akışlı	Dikey Akışlı
pH	7.24-8.34	7.14 ± 0.22	7.10 ± 0.88
KOİ (mg/L)	216-264	16 ± 8	8 ± 8
BOİ (mg/L)	72-120	10 ± 4	5.6 ± 6
AKM (mg/L)	240-320	28 ± 12	16 ± 10
T. Azot (mg/L)	17-28.82	0.82 ± 0.22	0.22 ± 0.32
T. Fosfor (mg/L)	2.93-3.84	0.13 ± 0.19	0.12 ± 0.18
NO ₃ -N(mg/L)	12.32-17.84	1.09 ± 0.4	0.73 ± 0.24
NH ₄ -N(mg/L)	10.28-14.56	0.24 ± 0.12	0.12 ± 0.11

3.9. Sürdürülebilirlik İçin Gri Su Arıtımı ve Yeniden Kullanımı

1990'lara kadar su, yeniden kullanılabilir veya geri dönüştürülebilir bir ürün değil, yalnızca tek kullanımlık bir ürün olarak kabul edilmiştir. 2030'un sürdürülebilir

kalkınma hedefine ulaşmak için, bir kaynaktan gelen herhangi bir su damlası, su döngüsünün her bölümünde dikkatlice yönetilmelidir. Ayrıca, su ortamı üzerindeki olumsuz etkileri en aza indirmek için, her kaynaktan üretilen her atık su, alıcı cisimlere salınmadan önce verimli bir şekilde arıtılmalıdır.

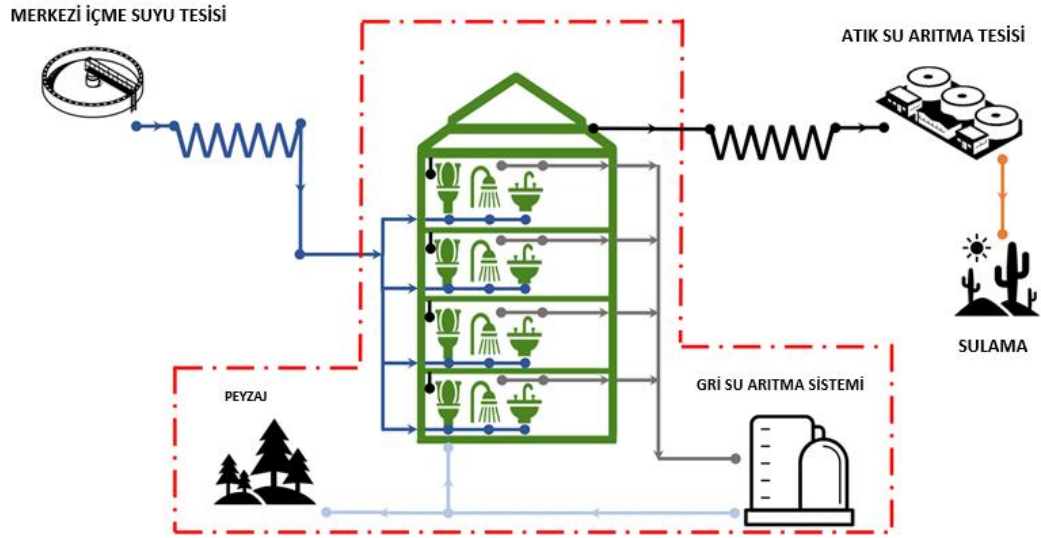
İklim değişikliğinin başlangıcı, artan su fiyatları, nüfus artışı, iyileştirilmiş yaşam standartları ve enerji tasarrufu, artık sürdürülebilir alternatif su kaynaklarının uygulanması için temel itici güçler olarak kabul edilmiştir. Dünya çapında içilebilir su kaynakları üzerindeki baskılar arttıkça, su kullanıcıları gri su yeniden kullanımı gibi alternatif su kaynaklarının kullanımına artan bir ilgi göstermektedir.

Gri su çoğunlukla yerinde yeniden kullanım ve geri dönüşüm için uygun kabul edilir. Gri su geri dönüşüm planları dünya çapında birçok ülkede denenmiştir ve giderek daha uygun bir strateji haline gelmektedir. Gri su geri dönüşümü için sürdürülebilir arıtma teknolojileri, dünyanın birçok yerinde tatlı su kıtlığını en aza indirebilir (Shafiquzzaman ve ark., 2021). Bununla birlikte gri su geri dönüşüm sistemlerini benimseme önerileri her zaman daha sürdürülebilir bir geleceğe ulaşmayı hedeflemekle birlikte su kıtlığına karşı kısa vadeli tepkilerdir. Gri suyun yeniden kullanımı, özellikle yoğun su kıtlığı çeken kurak ve yarı kurak bölgeler için su kaynakları yönetimi için sürdürülebilir bir yaklaşımdır. Son yirmi veya otuz yılda gri suyun yeniden kullanımı üzerine birçok araştırma çalışması yapılmış olmasına rağmen, kalite, miktar ve arıtma yöntemlerindeki kapsamlı değişikliklerdeki değişkenlik nedeniyle, gri suyun yeniden kullanımıyla ilgili zorlukları ve sorunları anlamak için çok çaba sarf edilmesi gerekmektedir (Mahmoudi ve ark., 2021).

3.10. Gri Suyun Türkiye’de ve Dünyada Önemi Kullanım Yerleri

Yakın zamana kadar gri su arıtma ve yeniden kullanım uygulamaları dünya çapında ilgili kurumlar tarafından fazla dikkate alınmıyordu. Gri suyun yeniden kullanımı genellikle düzenleyici bir çerçevenin gereklilikleri olmadan gerçekleştirilmiştir. Su tasarrufuna olan uluslararası ilgi ve yeniden kullanılan gri suyun yaygın uygulamaları, özellikle gri su arıtma ve yeniden kullanım uygulamaları için

standartların geliştirilmesine neden olmuştur. Bununla birlikte, dünyanın bazı bölgelerindeki düzenleyici kurumlar ya yeniden kullanım standartları geliştirme sürecindedir ya da henüz bir standart koymamışlardır. Dünyanın çeşitli yerlerinde gri suyun yeniden kullanımı gözden geçirilecek olursa; (Oki, 2015)



Şekil 3.10. Bir binada hidrolik döngü (Yoonus ve ark., 2020)

- Avustralya

1990'ların sonunda Avustralya'da yedi yıllık kuraklık ve Avustralya'nın birçok bölgesinde son zamanlarda yaşanan su kıtlığı, halkın dikkatini daha sürdürülebilir bir su kullanımı ihtiyacına odaklanmaya yönlendirmiştir (Avustralya Hükümeti Çevre Bakanlığı, 2010). Bu, Avustralya'nın dünyanın bazı bölgeleriyle karşılaştırıldığında, su tasarrufunun temel yöntemlerinden biri olarak gri suyun yeniden kullanımını uygulama hareketinde önde görünmesinin nedenlerinden biri olabilir. 2004'te Avusturya Hükümeti, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimini ele almak amacıyla "Suyu düşün, suyu harekete geçir." stratejisini yayınlamıştır. Bu strateji, 2023 yılına kadar şebeke suyu kullanımını %25 oranında azaltmayı hedeflemektedir. Ayrıca Avusturya Hükümeti, Avustralya'da 2015 yılına kadar geri kazanılan su kullanımını %30'a çıkarmayı da amaçlamıştır (Geary ve ark. 2005). Gri suyun yeniden kullanılması, bu yeniden kullanım hedefine ulaşılmasına katkıda bulunmanın bir yolu olarak onaylanmıştır.

Avustralya'da gri suyun yeniden kullanım uygulamalarını düzenleyen ulusal bir uygulama şekli yoktur. Bölgelere bu tür uygulamaları düzenleme sorumluluğu verilmiştir. Örneğin, Yeni Güney Galler'de gri su sistemleri kurmakla ilgilenen sakinlerin yerel hükümet yetkililerinden onay alması gerekmektedir. Kurulumdan sonra sıhhi tesisat kontrol edilir. Gri suyun yeniden kullanımını kapsayan mevzuat, Çevre Koruma Yasası kapsamındadır. Batı Avustralya uygulama kuralları, gri suyun yeniden kullanımı için önerilen yöntemler; gri su yönlendirme cihazı ve gri su arıtma sistemleri. Her yeniden kullanım yönteminin farklı izin verilen son kullanım ve onay gereksinimleri vardır (Batı Avustralya Hükümeti, 2010). Batı Avustralya'da arıtılmış su kalitesi parametreleri 20 mg/L BOİ'den ve 30 mg/L askıda katı maddeden az olmalıdır. Tuvalet yıkama, sulama ve çamaşır yıkama gibi yeniden kullanım uygulamaları daha yoğun arıtım gerektirir. Bu yeniden kullanım amacı için arıtılmış su kalitesi gereksinimi 10 mg/L BOİ'den az, 10 mg/L askıda katı maddeden az olmalıdır.

- Amerika Birleşik Devletleri

Amerika Birleşik Devletleri, gri su yeniden kullanım uygulamaları ve teknolojilerinde bir liderdir. Bunun nedenlerinden biri, ABD'deki evlerin yaklaşık %60'ının kanalizasyon sistemine bağlı olmaması olabilir (Jeppesen, 1996). Diğer bir sebepte Teksas, Florida, Güney Kaliforniya ve Arizona gibi bazı bölgelerin aşırı derecede kuru olması ve hızlı nüfus artışı yaşıyor olmasıdır. Bu alanlar özellikle alternatif ve sürdürülebilir su kaynaklarını araştırmaktadır. Ağustos 1989'da Santa Barbara, California, gri suyun yeniden kullanımını ilk yasallaştıranlardan biri olmuştur. Santa Barbara şehri, Mayıs 1990'da ABD'de tek aile konut kullanımıyla sınırlı olan ilk gri su yeniden kullanım kılavuzunu yayınlamıştır. Daha sonra 1997'de çok aileli kullanıma izin verecek şekilde yenilenmiştir. 1980'lerin sonlarında Florida, gri suyun yeniden kullanımını da yasallaştırmıştır. Florida'nın evsel atık su arıtma tesislerinin toplam yeniden kullanım kapasitesi 1986'dan 2001'e yüzde 281 artmıştır. Ocak 2001'de Arizona, eyaletteki her gri su sistemi için bir genel izin yayınlamıştır, bu yaklaşım Mart 2003'te New Mexico tarafından da benimsenmiştir.

- Avrupa

Avrupa Birliği'nde, gri suyun yeniden kullanımını özel olarak ele alan standartlar yoktur. Ancak Kentsel Atıksu Arıtma Direktifi, AB'deki kentsel atık su arıtımını düzenlemektedir. Belge, arıtma yükümlülüklerini ortaya koymakta ve çevreye salınan atık suların kalitesini tanımlamaktadır (Avrupa Komisyonu, 2011). Gri suyun arıtılması ve yeniden kullanımı için uygulama kuralları Birleşik Krallık'ta belirlenmiştir. British Standards Institution (BSI) tarafından Haziran 2010'da yayınlanmıştır. Gri suyun yeniden kullanımının tasarımı, kurulumu, testi, modifikasyonu ve bakımı için rehberlik ve tavsiyeler içermektedir (British Standards Institution, 2010). Belge, yalnızca İngiltere'de içilmeyen suyun yeniden kullanımını sağlamak için banyo kaynaklı su kullanan gri su sistemlerini kapsamaktadır.

Avrupa'da Almanya, geri kazanılmış suyun yaygın bir şekilde yeniden kullanımını teşvik etme konusunda ön saflarda yer almaktadır. 1995'te Alman Berlin Senatosu İnşaat ve Konut Dairesi, atık suyun yeniden kullanımı için ilk yönergeleri yayınlamıştır. Diğer Avrupa ülkeleri için suyun yeniden kullanımına ilişkin yönergeler ya mevcut değildir ya da uygulanma aşamasındadır. Suyun yeniden kullanımıyla ilgilenen bazı Avrupa ülkeleri, genellikle AB – Yüzme Suları Kılavuzu'nda belirtilen arıtılmış su kalitesini hedeflemektedir. Örneğin, 1989 yılında Almanya, Berlin'de başlatılan ilk resmi gri su yeniden kullanım projesi için arıtılmış su kalitesi, AB – Yüzme Suları Kılavuzu (Nolde, 2005) ile uyumlu olmuştur.

- Dünyanın geri kalanı

Asya'daki gri su geri dönüşümüne ilişkin mevzuat, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından oluşturulan belgelerde yer almaktadır. 1971'de DSÖ, halk sağlığı için kabul edilemez olarak bilinen atık suların, tavsiyeler veya arıtım olmaksızın birçok bölgede sulama için kullanıldığını fark etmiştir. Dünya Sağlık Örgütü, daha sonra Kaliforniya ABD'de belirlenen yönergeleri bir ölçüt olarak kullanarak ilk atık su yeniden kullanım yönergelerini yayınlamaya başlamıştır (WHO, 1973). Belge, atık suyun tarımsal amaçlı rasyonel kullanımını kolaylaştırmayı amaçlamaktadır; ayrıca

halk sağlığının ve çevrenin korunmasının nasıl sağlanacağı konusunda rehberlik sağlamıştır. Yeni araştırma ve bilgilerin kapsamlı bir incelemesi, Kaliforniya, ABD'de kabul edilen standartların haksız yere kısıtlayıcı olduğu sonucuna yol açtı. Sonuç olarak, belge gözden geçirilmiş ve 1989'da ikinci bir baskı yayınlanmıştır (WHO, 1989). Yenilenmiş belgede, atık su kalite kontrolüne büyük önem verilmiş ve aşağıdakiler için testler önerilmiştir: protozoon kistleri, helmintik parazitlerin yumurtaları, fekal koliformlar, Clostridium türleri, kimyasallar ve organik kalıntılar. Belgenin nc baskısı 2006'da yayınlanmıştır. Hedef kitlelere daha iyi ulaşmak ve risk yönetimi konusundaki ağdaş düşünceyi hesaba katarak genişletilmiş yeni standartlara dayanmaktadır (WHO, 2006).

3.11. Gri Suyun Güvenli Kullanımı İçin WHO Yönergeleri

2006 yılında, Dünya Sağlık rgt gri suyun yeniden kullanımı için kılavuzlar yayınlamıştır. Yayın, gri su ve atık suyun yeniden kullanımına yönelik önemli bir bakış açısı değişikliği olarak kabul edilmiştir. Kılavuzlar, suyla ilgili hastalıkları kontrol etmek için risk değerlendirmesi ve risk yönetimini birleştiren Stockholm erevesine dayanmaktadır. Kılavuzlar artık su kalitesi standartlarına içermemekte, bunun yerine sağlık temelli hedeflere ulaşmaya yol açan sağlık koruma önlemlerine içermektedir (WHO, 2006).

Tablo 3.10. Gri suyun yeniden kullanım limiti WHO standartları (2006)

Parametre	Ss meyve ağaçlarının ve yem bitkilerinin sulanması	Pışmemiş yenebilecek sebzelerin sulanması	Tuvalet sifonu
BOİ (mg/L)	≤240	≤20	≤10
AKM (mg/L)	≤140	≤20	≤10
Koliform (cfu /100 mL)	≤1000	≤200	≤10

WHO yönergeleri, su arıtmayı gri suyun yeniden kullanımına izin vermek için tek seçenek olarak tanımlamak yerine, gri suyun arıtımının riski azaltmaya yönelik seçeneklerden biri olarak belirtmektedir.

Gri su izleme için standart değerler ülkeler arasında farklılık gösterir. Aslında, çoğu ülke gri suyun yeniden kullanımı için atık suyla aynı standartları uygulamaktadır. Ancak, İngiltere, Ürdün, Japonya ve Avustralya gibi bazı ülkeler gri suyun yeniden kullanımı için kendi özel standartlarını oluşturmuştur (Assayed, 2013).

Tablo 3.11. Gelişmiş ülkeler ve WHO tarafından gri su standartları

Parametre	pH	Bulanıklık	AKM	BOİ	T. Azot
WHO- Pişmiş sebze ve oyun alanı	6-9	≤10	50	30	45
WHO- Ağaçlar ve yeşil alanlar	6-9	-	150	200	70
USEPA- Sınırsız kullanım	6-9	≤2	-	<10	-
USEPA- Kısıtlı kullanım	6-9	-	<30	<30	-
Avustralya- Gıda ile doğrudan temas	6.5-8.5	5	10	10	-
Avustralya- Gıda ile doğrudan olmayan temas	6.5-8.5	5	-	-	-

BÖLÜM 4. METERYAL VE YÖNTEM

4.1. Meteryal

4.1.1. Gri suyun temini ve karakterizasyonu

Gri su, Kocaeli ili, İzmit ilçesinde 6 dairenin bulunduğu yaklaşık 20-24 kişinin yaşadığı 3 katlı bir apartmandan toplanmıştır (Şekil 4.1). Bu konut, mutfak evyesi, bulaşık makinesi, duş, lavabolar ve çamaşır makinesinden gelen gri suyu toplamak için ayrı bir tesisat ile donatılmıştır. Binanın çıkışında bulunan yağ tutucuya gelen gri su yağ tutucudan geçtikten sonra belediyenin kanalizasyon hattına bağlanmaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.1. Gri suyun üretildiği konut



Şekil 4.2. Konut dışında gri suyun biriktiği yağ tutucu ünitesi

Şekil 4.2'deki yağ tutucu ünitesi sonrası doğrudan hazneden alınmış ve laboratuvarındaki tesise taşınmıştır gri su 4 °C'de muhafaza edilmiştir. Ham gri suyun parametre değerleri Tablo 4.1'de gösterilmiştir. Gri su kalitesi ve miktarı, büyük ölçüde yaşam tarzına, su tedarik hizmetine, yağ tutucu doluluk oranına, hanelerin günlük faaliyetlerine, sakinlerin sayısına ve coğrafi konuma bağlı değişkenlik göstermektedir. Çalışmada kullanılan gri suya, mutfak gri suyunun dahil olmuş olması organik madde konsantrasyonunun artmasında önemli bir rol oynamıştır.

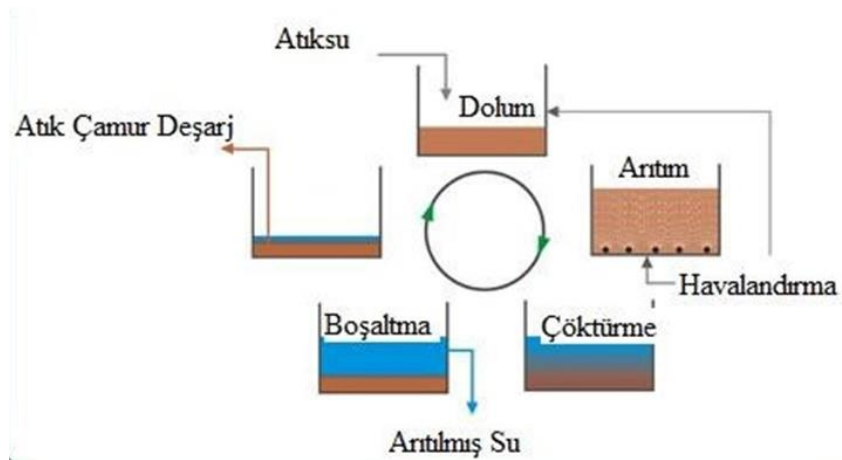
Tablo 4.1. Evsel nitelikli gri suyun karakteri

Parametre	Birim	min.	ort.	max.
pH	-	4,09	5,1	5,7
Elektriksel İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	365	716,2	947
Çözülmüş Oksijen	mg/L	0,28	0,5	0,7
Bulanıklık	NTU	827	1022,3	1128
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/L	382	502	652
Fosfat (P)	mg/L	27	39	48,1
Toplam Azot (ΣN)	mg/L	16,3	24,5	39,3
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg/L	1208	1652,8	2584
Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ)	mg/L	328	449,3	703

(Çalışma boyunca farklı zamanlarda numuneler temin edilmiştir. Gri suyun karakteride analiz edilmiştir.)

4.1.2. AKR düzeneği

Ardışık kesikli reaktörler doldur boşalt sistemi esasına dayanan ve doldurma, havalandırma, çökeltme ve boşaltma gibi arıtma fonksiyonlarını tek bir tank içerisinde gerçekleştirdiği aktif çamur prosesinin bir alternatifidir. Küçük debili evsel nitelikli atık suların biyolojik olarak arıtılmasında tercih edilebilir (Erdinç, 2001). Ardışık kesikli reaktör kullanıldığında, tek bir reaktörde askıda katı madde konsantrasyonunun düşürülmesi, nitrifikasyon, denitrifikasyon prosesiyle azot türlerinin konsantrasyonlarının standartların altına indirilmesi ve biyolojik olarak fosfat gideriminin elde edilmesi mümkündür (Akın ve Uğurlu, 2005). Yüksek arıtma verimi, daha az ve kararlı çamur üretimi ve kolay işletilmesi gibi avantajları sebebiyle tercih edilebilir bir sistemdir. Ardışık kesikli reaktörlerde, çökeltme havuzları ve debi dengeleme tankları gerekli değildir ve bu nedenle tesislerin ve işletme yönetiminin maliyetleri sürekli akışla çalışan çamur sistemlerinden çok daha düşüktür. Ayrıca, ardışık kesikli reaktörlerin çevrim süreleri ve akış hızları gibi çalışma koşullarını değiştirmenin kolay olmasından dolayı faydaları vardır. Bu nedenle, ardışık kesikli reaktörler özellikle küçük atık su arıtma tesisleri için etkili olarak kabul edilmektedir. AKR teknolojisini mühendislik uygulamalarında çekici kılan faktörler arasında; basit otomasyona uygulanabilirlik, çamur ve besin gidermesini etkileyen bakteri türleri üzerinde kontrole izin vermek için AKR sisteminin çalışma şeklinin değiştirilme kolaylığı ve enerji girişinin zamanını ve büyüklüğünü ayarlama yeteneği yer almaktadır.



Şekil 4.3. Ardışık kesikli reaktör (AKR) prosesi

AKR sistemi hem toplam azot hem de fosfat giderimini sağlayabilmesi, esnek çalışabilmesi ve ekonomik oluşu bu sistemi tasarlayıp çalıştırmak istememizde önemli rol oynamıştır. Pilot ölçekli arıtım tesisimiz 50~30~20 cm boyutlarında cam akvaryumdan oluşmaktadır. Tesis hacmi yaklaşık 25-30 L'dir. Havalandırma işlemini gerçekleştirmek için baş ucu karıştırıcısı kullanılmıştır.

Tablo 4.2. AKR sistemi havalandırma ve çökelme fazlarının gerçek görünümü



Reaktörün Havalandırma Fazı



Reaktörün Çökelme Fazı

4.1.3. Çalışmada Kullanılan Malzemeler, Cihazlar Ve Kimyasallar

Kullanılan Malzemeler ve Cihazlar:

- 50*30*25 cm boyutunda cam akvaryum
- BIOSAN MM-1000 Multi Mekanik Karıştırıcı
- VELP SCIENTIFICA Baş Üstü Karıştırıcı
- VELP SCIENTIFICA Perispaltik Pompa
- WTW Multi 3410 Set Portatif (pH, İletkenlik, Oksijen Ölçer)
- TURBIQUANT 1100 T Türbidimetre (MERCK)

- BLUPUMP Vakum Pompası ve Süzme Seti
- PHARO 300 Spektrofotometre (MERCK)
- AND GR-200 Analitik Terazî
- BRAND Transferpette Otomatik Pipet (100-1000 µL)
- Nüve FN 055 Sterilizatör (Etüv)
- WTW CR 3200 Termoreaktör
- KOİ Hücre Testi (MERCK)
- Fosfat Hücre Testi (MERCK)
- Azot Hücre Testi (MERCK)

4.2. Yöntem

AKR simülatörü sistemin performansını öğrenmek, sistemin çalışma şeklini belirlemek için iki farklı HRT süresince çalıştırılmıştır. Karıştırıcılar belirlenen sabit hızla (0,8 rpm) çalışmışlardır. Reaktörün çalışmasında HRT’lerde 1 gün ve 2,5 gün olarak iki farklı koşul düşünülmüştür. Gri su öncelikle HRT 1 günde analiz edilmiştir. Sonrasında 2,5 günlük çalışmaların analizleri yapılmıştır. Tablo 4.3.’de çalışma süreleri verilmiştir. Sistemde ön çalışma ve analiz sonuçlarından 2,5 gün’lük HRT süresinin veriminin 1 günlük çalışma koşullarına kıyasla daha verimli olduğu gözlemlenmiştir. Son set çalışmasında sistem sadece 2,5 günlük HRT’de çalıştırılmıştır.

Tablo 4.3. AKR sisteminin çalışma prensibi

HRT	1 gün (24 saat)	2,5 gün (60 saat)
Doldurma	15 dak.	15 dak.
Havalandırma	20 sa. 45 dak.	54 sa. 45 dak.
Çökeltme	2 sa. 45 dak.	4 sa. 45 dak.
Boşaltma	15 dak.	15 dak.

4.2.1. Gri suyun fiziksel arıtımı

Gri suların arıtımı ve yeniden kullanımında arıtım veriminin artırılması için birincil bir arıtım gereklidir. Birincil arıtım kirli suları fiziksel olarak ayrıştırmayı sağlamaktadır. Yüzebilen ve çökebilir katı parçacıkların sudan ayrıştırılmasında

çeşitli fiziksel arıtım yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlar; ızgaralar, elekler, kum tutucular, yüzdürme sistemleri, çöktürme havuzları ve dengeleme havuzlarıdır. Bu çalışmada kullanılan fiziksel arıtım metodu elekten geçirmedir. Elekten geçirilen ham gri su katı kirleticilerden uzaklaştırılmış olarak reaktöre aktarılmıştır. Gri su numunesi mutfak evyesinden ve bulaşık makinesinden gelen gri suyu içerdiği için katı parçacık kısmı mevcuttur.

AKR reaktörünün performansını gözlemlemek için çalışılan HRT'lerde gri su numunesi elekten geçirilmeden sisteme ilave edilmiştir. Sonuçlar gözden geçirildiğinde sistemin 2,5 gün çalışmasının arıtım verimini arttıracığı düşünülmüştür. Çıkış suyunun parametre değerlerinin daha verimli hale geleceği düşünülerek bir ön arıtım işlemi ilave edilmesi gereklidir sonucuna varılmıştır. Son çalışmada biyolojik arıtıma ek olarak fiziksel arıtım olan elekten geçirme işlemi uygulanmıştır.



Şekil 4.4. Elekten geçirilmiş ham gri su numunesinin elekte kalan kısmı

4.2.2. Gri suyun biyolojik arıtımı (AKR)

AKR'yi başlatmak için, yerel bir belediye arıtma tesisinin geri devir tankından temin edilen 10 L aktif çamur, reaktöre aktararak, besleme aşamasına geçilmiştir. Bu

aşamanın amacı biyolojik çamurun arıtım süreci boyunca oluşan, birbirine yapışan ve iyice çöken mikroorganizmaları adapte etmektir. Hücrelerin canlılığının sağlanması ve sistemin kendini hazırlaması için 7 gün düzenli olarak şekerle besleme yapılmış ve havalandırılmıştır. Sistemin devreye alınması ve yeterli mikroorganizma üremesinin ardından gri su ile arıtım aşamasına geçilmiştir. Bu sistemin endüstriyel ölçekte uygulanması için sıcaklık kontrol sorunları, gerçek koşullara ve optimum - sıcaklığa daha yakın reaktör sistemleri nedeniyle reaktör oda sıcaklığında (17-23 °C) kullanılmıştır. Havalandırma, sistemdeki ÇO miktarını 2 mg/L'nin üzerinde tutmak için besleme aşamasında çalıştırılmıştır. Besleme sonrası laboratuvar bünyesine temin edilen gerçek gri su perispaltik pompa yardımı aktarılmıştır.

Laboratuvar ölçekli AKR tesisinin doldurma periyodu gri suyun reaktöre perispaltik pompa yardımı ile 1 L gri suyun belirlenmiş debi aralığında alınma fazı olmuştur. Reaksiyonun bu periyodunda belirlenmiş sürelerde (1 gün ve 2,5 gün) biyolojik reaksiyon gerçekleştirilmiştir. Karıştırıcılar akvaryumun 4 köşesini hareketlendirir hızda (0,8 rpm) çalıştırılmıştır. Havalandırma fazı gerçekleşikten sonra aktif çamurun tabana çökmesi ve böylece duru fazın üste çıkması sağlanmıştır. Üstte arıtımını gerçekleştirdiğimiz gri su boşaltma periyodunda tekrardan perispaltik pompa yardımıyla 1 L çekilerek deşarj edilmiştir. AKR'lerde çeşitli çalışma aşamalarının zamanlaması esas olduğundan, doldurmadan boşaltmaya kadar belirlenen süreler arıtım verimliliği için esastır.

4.2.3. Analitik yöntemler

4.2.3.1. pH , elektriksel iletkenlik, çözülmüş oksijen ölçümleri

pH, bir çözeltinin hidrojen iyonu konsantrasyonunun veya bir çözeltinin ne kadar asidik veya bazik olduğunun ölçümüdür. pH, aralığı 0-14 arasında olan bir parametredir. pH ölçeği logaritmiktir. Yani her birim artış veya azalmada bir çözeltinin asidik veya bazik yapısındaki oluşan 10 kat farktır (Ruter, 2013). 7'nin üzerindeki değerler bazik veya alkalın bir çözeltiyi gösterir ve 7'nin altındaki değerler asidik bir çözeltiyi gösterir. Nötr suyun pH değeri 7'dir. Normal pH aralığı 6

ile 8,5'tur (More ve ark., 2022). Numunelerin pH'ı cam elektrotlu WTW Multi 3410 cihazı ile ölçülmüştür.

Suyun elektriksel iletkenliği, birçok endüstride suyun saflığının bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. İletkenlik, suyun bir elektrik akımı iletme yeteneğinin sayısal ifadesidir (Lingavale ve ark., 2022). Suyun iletkenliği suyun en önemli özelliklerinden biridir. Birimi $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir. Saf su molekülü elektrik geçirmez. Suda bulunan safsızlıklar çoğaldıkça suyun iletkenliği artar. Suyun iletkenliği ölçülerek suyun içindeki H_2O olmayan çözülmüş mineral miktarı konusunda fikir edinilebilmektedir. Atıksularda suyun iletkenliği esas olarak içindeki serbest iyonların(kimyasal kirleticiler) varlığından kaynaklanmaktadır (Lamichhane ve ark., 2011). Numunelerin elektriksel iletkenliği WTW Multi 3410 cihazı elektriksel iletkenlik probu ile ölçülmüştür.



Şekil 4.5. pH , elektriksel iletkenlik, çözülmüş oksijen ölçümleri

Çözülmüş oksijen, çeşitli biyokimyasal ve fizyolojik faaliyetlerde yer alan su veya diğer sıvılardaki serbest ve bileşik olmayan oksijeni ifade etmektedir (Tran-Ngoc ve ark., 2016). Sudaki çözülmüş oksijen içeriği, su kalitesinin önemli bir göstergesidir ve suyun arıtılmasında önemli bir faktördür. Çözülmüş oksijen konsantrasyonu, ortamın kendi kendini düzenleyen durumunu yansıtabilmektedir. Sudaki çeşitli kirleticilerin bozunmasına yardımcı olan yüksek çözülmüş oksijen içeriği, suyun hızla arıtılabileceğini göstermektedir. Tersine, düşük çözülmüş oksijen içeriği, sudaki kirleticilerin yavaş bozulmasına yol açmaktadır (Liu ve ark., 2010). Birimi mg/L veya % olarak verilir. Suda bulunun fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal

hareketliliğe göre değişkenlik göstermektedir. Suda durgunluk, derinlik, sıcaklık, mineral ve kirletici varlığı arttıkça çözünmüş oksijen miktarı düşmektedir. Numunelerin çözünmüş oksijeni WTW Multi 3410 cihazı multiprobu ile ölçülmüştür.

4.2.3.2. Bulanıklık ve askıda katı madde(AKM) analizi

Bulanıklık, su kütlesinin optik bir özelliğidir. İçinde ışığın geçişinde yaşayan suda asılı parçacıkların varlığı bulanıklık olarak adlandırılmaktadır. Asılı partiküllerin, çözünmüş inorganik kimyasal türlerin, organik madde içeriğinin ve sıcaklığın varlığı, bir su kütlesinin bulanıklığını etkileyebilmektedir (Kitchener ve ark., 2017). Asılı parçacıklar koloidal veya kaba dağılımlar olabilir ve boyutları türbülans derecesini belirlemektedir (Mandal, 2014). Bulanıklık, kolayca izlenebilen ve basit ölçüm tekniği olan bir su kalitesi parametresidir. Birimi NTU'dur. Sudaki bulanıklık AKM için göreceli bir vekil olarak kullanılabilir (Lannergard ve ark., 2019). Bulanıklık ölçümü Turbiquant 1100 T bulanıklık cihazı ile ölçülmüştür.



Şekil 4.6. Askıda katı madde deneyinde süzme işlemi



Şekil 4.7. Bulanıklık ölçümü

Askıda katı madde(AKM) terimi, suya tutunan organik ve inorganik maddenin konsantrasyonunu ifade etmektedir. Birimi mg/L'dir. AKM, su berraklığının bir

ölçüsü olarak, su kalitesindeki bozulmayı değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. AKM, güneş ışığını bloke ederek sucul ekosistemleri olumsuz yönde etkilemekte ve daha sonra fotosentezi azaltmaktadır. (Bilotta ve Brazier, 2008). Suda bulunan katılar sudan daha fazla ısıyı emerler ve daha yüksek sıcaklığa sahip bir su ortamı daha az çözünmüş oksijen (ÇO) tutabilir, bu da su ekosisteminin dengesini bozmaktadır (Bilotta ve Brazier, 2008). Askıda katı maddeler ayrıca fosfor, civa ve ağır metaller gibi kirleticilerin bir taşıyıcısı olabilirler. Her şeyden önemlisi yüksek AKM, herhangi bir su kütlesindeki potansiyel su kalitesi tehlikelerini göstermektedir. AKM tayini standart metot ile gerçekleştirilmiştir. 105 °C etüvde nemi çekilen filtre kağıdı desikatörde bekledikten sonra kuru ağırlığı hassas terazide ölçülmüştür. Filtre kağıdı süzme setine yerleştirilmiş ve numuneden geçirilmiştir. Filtre kağıdı tekrardan 105 °C etüvde kurutulmuş ve desikatöre alınmıştır. Soğuyan filtre kağıdı hassas terazide ölçülmüştür. İlk tartım ve son tartım arasındaki fark ile yapılan işlemler AKM'yi ifade etmektedir.

4.2.3.3. Toplam azot ve fosfat analizi

Azot kirliliği su kütlelerinde ciddi bir sorundur. Azot bakımından kirli sular, doğal su kütlelerine boşaltılmadan önce uzaklaştırılmalıdır çünkü su ötrofikasyonuna neden olabilir veya doğal su kütlelerini tahrip edebilmektedir (Renuka ve ark., 2013). Toplam azot; amonyum ($\text{NH}_4\text{-N}$), nitrit ($\text{NO}_2\text{-N}$) ve nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$)'ın bağlanmış azot halidir. Birçok çalışma, amonyum azotunun kirlilik yükünün nitrat ve nitrite kıyasla daha fazla olduğunu göstermektedir (Fu ve ark., 2012). $\text{NO}_3\text{-N}$, toplam azotun %70'inden fazlasını oluşturduğu için çoğu atıksu arıtımında giderimi esas olarak kabul edilmektedir (Xia ve ark., 2014; Zhang ve ark., 2016). Biyolojik azot giderimi genellikle geleneksel nitrifikasyon-denitrifikasyon işlemi ile sağlanmaktadır. Azotun yüksek amonyak konsantrasyonu veya düşük C / N oranı içeren atık sulardan tamamen uzaklaştırılması, genellikle yüksek denitrifikasyon oranını sürdürmek için anoksik fazda mevcut organik karbon kaynağının bulunmaması ile sağlanmaktadır (Guo ve ark., 2007). Merck marka toplam azot hücre testlerinin prospektüsüne uygun hazırlanan numuneler Pharo 300 spektrofotometresinde ölçülmüştür.

Atık sularda bulunan en yaygın fosfor formları organik bileşikler, ortofosfatlar ve polifosfatlardır. Fosforun %70 ile 90'ı ortofosfat veya polifosfattır geri kalanı organik bileşiklerin bir parçası olarak bulunur (Ruzhitskaya ve Gogina, 2017). Polifosfatlar, etkili temizlik için gerekli olan alkali çözeltiyi sağlamak için deterjanlarda kullanılır ve bu nedenle gri suda büyük miktarlarda bulunurlar. Fosfor doğal sularda ve atıksularda çoğunlukla fosfat (PO_4^{3-}) şeklinde bulunur. Evsel atık sular, insan dışkı (%30-50) ve polifosfat bileşenleri içeren sentetik deterjanların yaygın kullanımı (%50-70) sonucu fosfat içerir. Yüksek fosfat seviyesi, çözülmüş oksijenin büyük ölçüde tüketmektedir (Ye ve ark., 2017). Biyolojik proseslerde organik içerik varlığı, sıcaklık ve çözülmüş oksijen fosfatın verimini etkileyebilmektedir (Xia ve ark., 2022). Merck marka fosfat hücre testlerinin prospektüsüne uygun hazırlanan numuneler Pharo 300 spektrofotometresinde ölçülmüştür.

4.2.3.4. Kimyasal oksijen ihtiyacı(KOİ) ve biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) analizleri

Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) analizi, su kalitesi değerlendirmesi ve kirlilik kontrolü için gereklidir. KOİ, sulardaki organik kirliliğin belirtisidir (Geerdink ve ark., 2017). Çözeltide bulunan inorganik ve organik maddelerin reaksiyonları ile kullanılabilir oksijen miktarının bir göstergesidir. KOİ belirli bir bileşikle ilgili değildir, bunun yerine atık sulardaki kirlenme derecesini ölçmek için bir parametre olarak kabul edilmektedir (Mousazadeh ve ark., 2021). Yüksek KOİ konsantrasyonu, organik maddeler arasındaki yüksek kimyasal reaksiyonun varlığını göstergesidir (Yaakob ve ark., 2018). Merck marka KOİ hücre testlerinin prospektüsüne uygun hazırlanan numuneler Pharo 300 spektrofotometresinde ölçülmüştür.

BOİ ve KOİ, suyun organik kirliliğini ölçmek için kullanılan parametrelerdir. KOİ, suda bulunan tüm organik maddeleri oksitlemek için gereken oksijen miktarını tanımlarken, BOİ, mikroorganizmalar tarafından organik maddeyi aerobik koşullar altında belirli bir sıcaklıkta ayrıştırmak için tüketilen oksijen miktarıdır (Majumder ve ark., 2021). BOİ belirli bir süre içinde (normalde 5 gün) bakteriler yoluyla biyolojik oksidasyonu tanımlamaktadır (Morel ve Diener, 2006). BOİ'nin gerçek

zamanlı ve doğru bir şekilde izlenmesi, arıtma proseslerinin performansının otomatik kontrolünü geliştirmek için kilit bir faktördür (Yu ve ark., 2019). BOİ analizi standart metot ile hizmet alımı şeklimde gerçekleştirilmiştir.

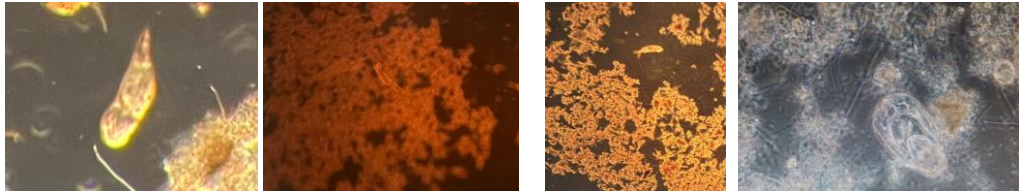


BÖLÜM 5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. AKR Sisteminde Uygulanacak Çalışma Prensibinin Kararı

Kurulmuş AKR düzeneğinin başarısını gözlemlemek için ön çalışmalar yapılmıştır. Sistem kurulmuş, yerel bir belediyenin geri devir tankından getirilen aktif çamur reaktörde birkaç gün havalandırılmıştır. Çamurdaki canlılığın devam edebilmesi içinde karbon kaynağı olarak 2 günde bir şeker ilavesi yapılmıştır. Getirilen çamur mikroskopta incelenmiş ve içerisinde çeşitli ve çok sayıda rotifer(Habrotrocha ve Notommata) varlığının olduğu gözlemlenmiştir. (Şekil 5.1.)

Rotiferler olgunlaşmış aktif çamur içerisinde yer alan çok hücreli organizmalardır. Serbest halde dağılmış olan bakterilerin uzaklaştırılması ve mukusla çevrelenmiş dışkı topakları oluşumuna yardımcı olmak gibi görevleri bulunmaktadır. Rotiferler, yüksek miktarda çözünmüş oksijene ihtiyaç duyarlar, dolayısıyla onların varlığı suyun biyolojik saflığının bir göstergesidir. Aktif çamur proseslerinde rotifer varlığı çıkış suyunun berraklığında ve biyokütle azaltılmasında önemli bir role sahiptir.



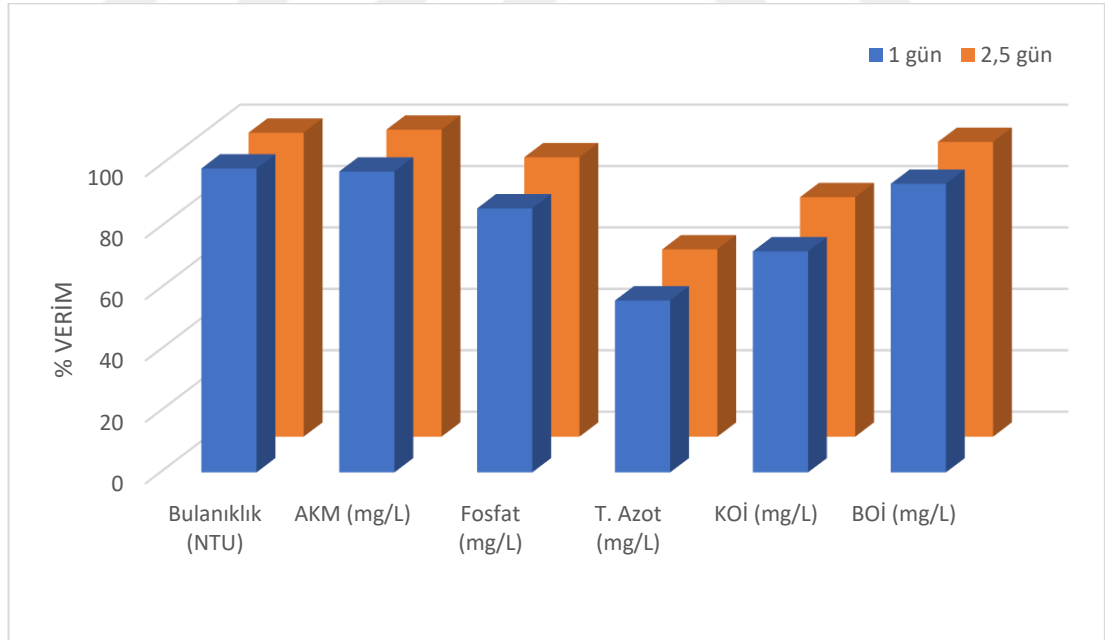
Şekil 5.1. Arıtma çamurundaki rotifer varlığı

AKR reaktörünün gerçek zamanlı kontrolünün sağlanabilmesi ve arıtım verimini öğrenebilmek için sistem öncelikle iki farklı hidrolik bekleme süresinde(HRT) çalıştırılmıştır. HRT'ler 1 gün (12 saat) ve 2,5 gün (60 saat) olarak uygulanmıştır. Hidrolik sürelerin çalışma prensipleri Tablo 4.3'de verilmiştir.

AKR reaktöründe hidrolik sürenin arıtım verimine etkisi olduğu her iki HRT sürelerinde yapılan arıtımla gözlemlenmiştir. Bu süreçte temin edilen gri su numunelerinin karakteri de incelenmiştir. (Tablo 4.1) Sistemin performansını gözlemek için yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

pH değerleri ölçümü sonucu 1 gün'lük çalışma verileri 7.21 - 7.42 iken 2,5 gün'lük verilerinde ise 7.64 - 7.9 değerleri elde edilmiştir. HRT süresinin artmasıyla pH değerleride artmaktadır. Elektriksel iletkenlik değerleri HRT 1 gün ve HRT 2,5 gün olan çalışma dilimlerinde sırasıyla 564 - 607 $\mu\text{S/cm}$, 523 - 628 $\mu\text{S/cm}$ değerleri arasında ölçülmüştür. 1 günlük ve 2,5 günlük çalışmalarda da elde edilen sonuçların ham gri su numunesine yakın değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. Hidrolik bekleme süresinin elektriksel iletkenlik üzerinde bir etkisinin olmadığı düşünülmektedir. Çözünmüş oksijen ölçüm sonuçları 1 gün'lük ve 2,5 gün'lük çalışma dilimlerinde sırasıyla 2,76 - 3,87 mg/L, 4,31 - 5,92 mg/L aralığında ölçülmüştür. Yapılan ilk çalışmalar neticesinde 1 günlük ve 2,5 günlük çalışmalarda çözünmüş oksijen ölçümlerinde gözle görülür değişiklikler olduğu görülmüştür. Hidrolik bekleme süresinin etkili olduğu düşünülmektedir. Havalandırmanın daha fazla gerçekleştiği 2,5 gün'lük HRT süresince çözünmüş oksijen miktarı yüksek sonuçlar vermiştir. Bulanıklık sonuçları 1 gün'lük çalışma diliminde 5,74 - 8,85 NTU ve 2,5 gün'lük çalışma dilimindeyse 1,86 - 7,25 NTU değerlerinde gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, önemli ölçüde bulanıklık giderimi sağlanmıştır. 2,5 gün'lük çalışmada çökeltme fazının artmış olmasıyla bulanıktaki azalma, daha yüksek bir çökeltme reaksiyon süresi kullanıldığında bulanıklığın daha iyi sonuçlar verebileceğini göstermektedir. Askıda katı madde (AKM) değerleri 1 gün'lük ve 2,5 gün'lük çalışma dilimlerinde sırasıyla 4,2 - 9,6 mg/L, 2 - 8 mg/L değerleri arasında hesaplanmıştır. 1 gün'lük çalışmaların sonucunda elde edilen arıtma verimi %98-99 iken 2,5 gün'lük çalışma sonrası elde edilen verim %98-100 olmuştur. Fosfat değerleri gözlemlenmesi sonucu 1 gün'lük HRT için 5,87 - 9,16 mg/L ve 2,5 gün'lük HRT için 3,09 - 4,45 mg/L değerleri elde edilmiştir. HRT 1 gün olduğunda çalışmaların sonucunda elde edilen verim %81-86, HRT 2,5 gün olduğunda elde edilen verim %87-91 olmuştur. Azot değerleri, HRT 1 gün'lük ve HRT 2,5 gün'lük çalışma dilimlerinde sırasıyla 12,45 - 13,79 mg/L, 15,28 - 16,43 mg/L aralığında analiz edilmiştir. Sırasıyla HRT 1 gün

olan çalışmadan elde edilen verim %52-56, HRT 2,5 gün olan çalışmalardan elde edilen verim ise %58-61 olmuştur. AKR sisteminin aerobik fazlarında verilen havanın miktarı ve HRT sürelerinin çeşitliliğinden kaynaklanan havalandırma aşamasının saat olarak iki farklı zaman diliminde gerçekleşmesi azot giderimini etkilememiştir. Yapılan son çalışmada azot giderimini daha verimli hale getirebilmek için fiziksel arıtım yöntemi olan elekten geçirme işlemi son yapılan 2,5 günlük çalışmaya eklenmiştir. Kimyasal Oksijen İhtiyacı(KOİ)'nin laboratuvar ölçekli pilot tesise ait giderim verimleri HRT 1 gün olduğunda 452-615 mg/L iken HRT 2,5 gün olduğunda 254-371 mg/L aralığında olmuştur. HRT 1 gün olan çalışmaların sonucunda elde edilen giderim verimi %68-72 iken HRT 2,5 olan çalışmaların sonucunda elde edilen giderim verimi %73-78 olmuştur. AKR sisteminin yapılmış olan analizler sonucunda ortalama verimi ise %72 olmuştur. Biyolojik Oksijen İhtiyacı(BOİ)'nin BOİ değerleri HRT 1 günde 28 – 41 mg/L, HRT 2,5 günde 12 – 24 mg/L olarak ölçülmüştür. Sırasıyla HRT 1 gün ve 2,5 günde elde edilen verim %91-94, %92-96 olarak hesaplanmıştır. HRT süresi BOİ veriminde de etkili olmuştur.



Şekil 5.2. Ön çalışmada HRT'ler arası verim

Yapılan ön çalışmalar neticesinde pilot ölçekli AKR sisteminin verimleri arası kıyaslamalar yapılmış ve aerobik bir tesis için havalandırmanın ve bekleme süresinin farklı parametrelerde farklı etkileri olduğu gözlemlenmiştir. Gri su numunesinin

karakterinin incelenmesi ve elde edilen sonuçlarla mukayesesi sonucunda sisteme bir ön arıtımın eklenmesi verimini çok daha yukarı çekeceği düşünülmüştür. Sistem tüm bu veriler doğrultusunda yeniden arıtım için hazırlanmıştır. Arıtma çamuru yenilenmiştir. Karbon kaynağı olarak şeker kullanılmaya devam edilmiştir. Sonuçlar doğrultusunda 2,5 günlük çalışmanın veriminin daha iyi olmasından sistem direk 2,5 günlük HRT’de çalıştırılmıştır. Buna ek olarak birincil ve fiziksel arıtım olan elekten geçirilme işlemiyle yeni sonuçlar sonuçları aşağıda ifade edilmiştir. AKR çamur yaşı 25 güne kadar durmadan çalıştırılmıştır. Set içerisinde 10 tekrar ölçüm yapılmıştır.

Yapılan son çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki başlıklarda açıklanmıştır.

5.2. Gerçek Gri Su Numunelerinin Sonuçları

Şebeke suyunun kaynağına ve kullanım alanlarına göre evsel gri su kalitesi oldukça değişkendir. Gri su esas olarak organik ve inorganik kirleticilerden oluşmaktadır. Gri suyun AKR sisteminde arıtımına geçilmeden önce belirli fiziko-kimyasal parametre değerleri ölçülmüştür. Analiz sonucunda incelenen parametreler: pH, Elektriksel İletkenlik(Eİ), Çözünmüş Oksijen(ÇO), Bulanıklık, Askıda Katı Madde(AKM), Toplam Azot, Fosfat, Kimyasal Oksijen İhtiyacı(KOI) ve Biyolojik Oksijen İhtiyacı(BOİ) olmuştur.

HRT sürelerinin sistem üzerindeki etkisinin incelenmesi için gri su farklı zamanlarda arıtım için getirilmiştir. Numuneler günün öğleden önce 9-10 aralığındaki zaman diliminde, konutun yağ tutucu ünitesi sonrası doğrudan temin edilmiştir. Ortamın sıcaklığı 18-22°C’dir. Gri su numuneleri 5L’lik pet şişelerde laboratuvara taşınmıştır. Numuneler laboratuvara getirildiği gün analiz edilmiştir. Sonraki kullanımlarında ilk ölçüm esas alınmış ve karakterin bozulmaması için gri su numuneleri 4°C buzdolabında muhafaza edilmiştir. Sistemin çalışma şekline karar verildikten sonra getirilen ve asıl çalışmada kullanılan gri su numunesinin karakteri Tablo 5.1’de verilmiştir. Analizi yapılmış tüm gri su numunelerinin sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1. Son çalışmada kullanılan gri su numunesinin analiz sonuçları (2,5 gün)

Parametre	Birim	Değerler
pH	-	5.29
Elektriksel İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	769
Çözünmüş Oksijen	mg/L	0,72
Bulanıklık	NTU	965
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/L	584
Fosfat (P)	mg/L	46
Toplam Azot (N)	mg/L	24
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg/L	1573
Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ)	mg/L	428

Gri suyun pH değeri 4,09 - 5,67 aralığında asidik olarak ölçülmüştür. Gri suyun pH değerini büyük ölçüde etkileyen, lavaboları ve banyoları yıkamak için kullanılan temizlik kimyasallarının yanı sıra diş macunları, sabunlar ve şampuanların tüketimine bağlıdır (Pathan ve ark., 2011). Yapılan çalışmalar incelendiğinde 6,8(Mukhopadhyay ve ark., 2022) ve 5,6(Braga ve Varesche, 2014) değerlerinde gri suyun pH'ı asidiktir sonucu bildirilmiştir. Elektriksel iletkenlik değerinin de 365 - 947 $\mu\text{S/cm}$ aralığında olduğu ölçülmüştür. Hammaddelerinde fosfat, sodyum ve potasyum bulunan deterjanlar çözünen katının zenginleşmesine yol açarak elektriksel iletkenliğin artmasına sebep olurlar (Rakesh ve ark., 2020). Yapılan çalışmalar incelendiğinde 1985 $\mu\text{S/cm}$ (Khanam ve Patidar, 2022), 965,2 $\mu\text{S/cm}$ (Abed ve ark., 2020) ve 56.7-527 $\mu\text{S/cm}$ (Athullya ve ark., 2021) arasında değişken elektriksel iletkenlik değerleri olduğu bildirilmiştir. Bulanıklık, askıda katı maddeler, çamaşır makinesindeki gri sudan gelen yüksek metal oranı ve kirlilik içeriği nedeniyle iletkenlik oldukça değişkendir. Çözünmüş oksijen 0,28 - 0,72 mg/L aralığında olduğu ölçümler sonucu bulunmuştur. Suda durgunluk, derinlik, sıcaklık, mineral ve kirletici varlığı arttıkça oksijen miktarı azalmaktadır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde 0,4 mg/L(Edwin ve ark., 2014) ve 0,89-2,43 mg/L(Tusiime ve ark., 2022) aralığında çözünmüş oksijen miktarının seyredildiği bildirilmiştir. Bulanıklık 827 - 1128 NTU arasında değerlerde olduğu ölçülmüştür. Kil, silt, organik ve inorganik maddeler, kişisel bakım ürünleri, sabun ve deterjanlar, fekal koliformlar ve diğer mikroskobik canlılar bulanıklığa neden olmaktadır (Ghaitidak ve Yadav, 2013). Literatür incelemesinde yapılan çalışmalarda 12-2131 NTU(Barişçı ve Türkay,

2016), 20-619 NTU(Uthirakrishnan ve ark., 2022) ve 245 NTU(Abdelhay ve Abunaser, 2021) sonuçları bildirilmiştir. Askıda katı madde (AKM) değerlerinin yapılan deneyler sonucunda 382 - 652 mg/L değerlerinde olduğu hesaplanmıştır. Mutfak evyesi, çamaşır ve bulaşık makinelerinden gelen gri sular AKM değerlerinin yüksek çıkmasında etkilidir (Rakesh ve ark., 2020).Yapılan çalışmalar gözden geçirildiğinde 3,9-233 mg/L(Friedler ve ark., 2021), 33-700 mg/L(Hachicha ve ark., 2022) ve 156-1018 mg/L(Abdelhay ve Abunaser, 2021) değişken aralıklarda AKM konsantrasyonları bildirilmiştir. Fosfat değeri 27 - 48,05 mg/L olarak ölçülmüştür. Deterjanlarda suyun sertliğini azaltıp yıkama performansını arttırmak için kullanılan kimyasallar önemli fosfat kaynaklarıdır (Turner ve ark., 2019). Literatür taraması sonucu 42 mg/L(Khanam ve Patidar, 2022) ve 0,2-187 mg/L(Shaikh ve Ahammed, 2020) geniş aralıkta fosfat değerleri bildirilmiştir. Toplam azot değerinin 16,3 - 39,25 mg/L arasında olduğu ölçülmüştür. Karışık gri sular fazlaca azot konsantrasyonu ile karakterize olmaktadır. Protein bakımından zengin yiyecekler amonyak bakımından zengin temizlik ürünleri azot miktarını arttırmaktadır (Shaikh ve Ahammed, 2020). Yapılan çalışmalar incelendiğinde 1,7-34,3 mg/L(Tusiime ve ark., 2022), 8,8-57,7 mg/L(Khanam ve Patidar, 2022) ve 1,7-36 mg/L(Uthirakrishnan ve ark., 2022) toplam azot konsantrasyonlarının olduğu bildirilmiştir. KOİ değerleri 1208 - 2584 mg/L aralığında olduğu analiz edilmiştir. KOİ kirlilik yükü kişisel hijyen malzemeleri, bulaşık ve çamaşır deterjanları gibi kullanılan ürünlerden kaynaklı farklılık göstermektedir. Çamaşır makinesinden gelen gri su KOİ değerinin en yüksek seyrettiği kaynaktır (Noutsopoulos ve ark., 2018). Literatür incelendiğinde 917 mg/L(Hachicha ve ark., 2022), 42-1095 mg/L(Athullya ve ark., 2021) ve 38-1843 mg/L(Smith ve Bani-Melhem, 2012) KOİ konsantrasyonları bildirilmiştir. BOİ değerleri 328 – 703 mg/L olduğu analiz edilmiştir. BOİ'ye ana katkı, çözünmüş organikler ve askıda kalan gıda parçacıklarıdır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde 660 mg/L(Mukhopadhyay ve ark., 2022), 518 mg/L(Dhiman ve ark., 2022) ve 219 mg/L(Patel ve ark., 2022) BOİ için analiz sonuçlarının bulunduğu bildirilmiştir. (Literatür taraması sonucu örnek verilen çalışmalarda evsel nitelikli mutfak atıksuyu içeren karışık gri suların konsantrasyonları dikkate alınmıştır.)

Gri su genel anlamıyla foseptik atık içermeyen sudur. Gri su kirlilik yüküne göre sınıflandırılmaktadır. Açık gri su, mutfaktan gelen suyu içermeyen gri sudur. Koyu gri su, mutfak lavabosu ve bulaşık makinesi gibi kirlilik yükü yoğun olan atık suları içeren gri sudur. Gri suyun temin edildiği konut evsel atık suların foseptik atık su içermeyen diğer tüm atık sularını içermektedir. Analizler ve parametre değerleri sonucunda da kullanılan gri su koyu gri su kategorisine girmektedir.

5.3. Gri Su Arıtımında Fizikokimyasal Analiz Sonuçları

5.3.1. pH ölçüm sonuçları

Suyun pH değeri, çok sayıda çözünmüş madde ile ilgilidir ve bu nedenle su kalitesinin iyi bir göstergesidir. Biyolojik atık su arıtımında pH önemlidir çünkü çoğu mikroorganizma en iyi nötraliteye (pH-7) yakın pH değerlerinde büyümektedir. pH, fotosentezde yer alan farklı enzimlerin aktivitesini düzenler ve ayrıca mikroalg türlerinin optimum büyümesinde ve hücreler tarafından karbon alımında önemli bir rol oynamaktadır.

Suda bulunan belirli kimyasal elementlerin mevcudiyetini ve toksisitesini belirlemek için ölçümler yapılmıştır. Tüm çalışma sonucu elde edilen arıtılmış gri suyun pH'ı, 7,87 - 8,31 (Tablo 5.2.) değerleri aralığında dalgalanmalar oluşturmuştur. AKR reaktöründe gerçekleşen arıtımda bazı deterjanların, sabunların, yağ içeren gıda parçacıklarının ayrışması pH'ın yükselmesine katkıda bulunmuştur. Kullanılan gri su numunesinin pH'ı asidik olduğu gözlemlenmiştir.(Tablo 4.1) AKR reaktöründe gerçekleşen biyolojik arıtımla pH'ı alkali olmuştur ve tüm ölçümlerde nihai sonuç pH'ı alkali göstermektedir. Literatürde yapılan benzer çalışmalar incelendiğinde Khuntia ve ark.(2021), AKR reaktöründe 2,25 günlük HRT'de arıttıkları gri suyun pH'ını 8.85 olarak, Krishnan ve ark.(2008), 1,5 günlük HRT'de 7.9 - 8.5 aralığında pH'ın seyrettiğini bildirmişlerdir. Sabri(2013), AKR reaktöründe arıttığı gri suyun çıkış pH değerini 7.26 – 8.36 olarak bildirmiştir. Elde edilen sonuçlarla kıyaslama yapıldığında literatürdeki AKR reaktöründe arıtılmış gri suyun pH değerleri yapılan tüm çalışmalarda elde edilen pH sonuçları ile örtüşmektedir.

5.3.2. Elektriksel iletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ölçüm sonuçları

Elektriksel iletkenlik, su kaynağının çözünmüş mineral içeriğindeki değişimin hızlı ve pratik bir şekilde tahmin edilmesini sağlamaktadır. İletkenlik, ilgili direncin karşılığı olarak tanımlanmaktadır. Yüksek elektriksel iletkenlik içeren gri su seviyelerinin sebebi kullanılan çamaşır deterjanları ve yumuşatıcılarının çözünmüş tuzlarının etkisidir. Elektriksel iletkenliğin yüksek düzeylerde olmasının başlıca sebebi çamaşır makinelerinden gelen gri sularıdır. Kullanılan gri suyun elektriksel iletkenlik değeri değişken geniş aralıkta seyretmiştir.

Arıtılmış gri suyun elektriksel iletkenlik değerleri 803 - 979 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tablo 5.2.) olarak ölçülmüştür. AKR reaktörüne ilave edilen gri su numunesinin giriş ve çıkış iletkenlik değerine bakıldığında bir artış yaşandığı görülmektedir. Arıtma çamuru yapısından kaynaklı bir artış yaşanabileceği düşünülmektedir. AKR reaktöründe gerçekleşen arıtımla tuz, nitratlar, amonyum ve katyonların uzaklaştırılamadığı görülmektedir.

5.3.3. Çözünmüş oksijen (mg/L) ölçüm sonuçları

Çözünmüş oksijen, etkili bir ekolojik parametredir. Çözünmüş oksijen, biyolojik süreçler üzerindeki etkisi ve havalandırma ile ilgili enerji tasarrufu nedeniyle kontrol edilmesi gereken en önemli parametrelerden biridir. Aerobik mikroorganizmaların yanı sıra diğer tüm aerobik yaşam formlarının solunumu için gereklidir. Çözünmüş oksijen, bakteri popülasyonları tarafından tüketilebilir. Biyolojik prosesler alanında kirlilik giderme kontrolü son derece önemlidir. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu, sıcaklık, tuzluluk veya basınç gibi çeşitli sistem parametrelerine göre güçlü bir şekilde değişir.

Arıtılmış gri suyun çözünmüş oksijen değerleri 4,98 - 9,13 mg/L (Tablo 5.2.) olarak ölçülmüştür. AKR reaktörü sistemin oksijen miktarını her koşulda 2 mg/L 'nin üzerinde tutmuştur. Çözünmüş oksijen miktarı havalandırmanın etkisiyle yüksek sonuçlarda gözlemlendiği görülmüştür. Akın ve Uğurlu(2005), çamur yaşının 25 gün

olduğu AKR sisteminde çözünmüş oksijeni 2.3 – 2.6 mg/L olarak bildirmişlerdir. Çamur yaşının 25 gün olduğu AKR reaktörümüzde çözünmüş oksijen miktarı 4,98 mg/L olarak ölçülmüştür. Çamur yaşının 10 gün olduğu zaman diliminde de max. çözünmüş oksijen miktarı ölçülmüştür (9,13). Çözünmüş oksijen miktarı yaptığımız çalışmalar neticesinde havalandırma ve sudaki canlılıkla ilgili olduğu düşünülmektedir. Çamur yaşında etkili olduğu çamur yaşındaki ilerleyişle birlikte oksijen miktarında azalma Tablo 5.2.'de verilmiştir.

5.3.4. Bulanıklık (NTU) ölçüm sonuçları

Bulanıklığın giderilmesi estetik açıdan oldukça önemlidir. Aerobik biyolojik işlemler, yüksek verimli bulanıklık giderme oranlarına sahiptirler. Çamurun daha hızlı çökme hızına yol açan çamur floklarının ve çamur granüllerinin oluşumu, bulanıklık oluşumunu minimum seviyelere indirmektedir.

Bulanıklığın giderilmesinde bir diğer etken kullanılan birincil arıtım olmuştur. Elekten geçirilen gri suyun tortu kısmı elekte kaldığı için reaktöre yoğun parçacık ilavesi yapılmamaktaydı. Çalışma sonuçlarında bulanıklık açısından AKR sisteminin verimliliğinin yüksek seviyede olduğu açıkça görülmüştür. 25 günlük kesintisiz AKR sistemi çalışması sonrası 0,88 – 3,17 NTU (Tablo 5.2.) seviyelerine düşmüştür. Bu da ortalama %99 giderim verimine karşılık gelmektedir. Literatür çalışmalarında; Khuntia ve ark.(2021), 2,25 günlük HRT'de bulanıklık giderimini %98,75 olarak bildirmişlerdir. Benzer çalışma olan Krishnan ve ark.(2008), yaptığı 1,5 günlük HRT'de bulanıklığı 5-6 NTU olarak bildirilmiştir. AKR sistemi bulanıklığı max. seviyede verimle gidermiştir.

5.3.5. Askıda katı madde (mg/L) analiz sonuçları

Gri su genellikle daha az askıda katı madde içerir, ancak patojen miktarı oldukça yüksektir, bunun nedeni inorganik tuzların çökmesi olabilir. Sebzelerin ve meyvelerin yıkanması, giysilerin yıkanması gri suya kum, kil, silt ekleyeceği için AKM oranını yükseltmektedir. Sudan daha ağır olan parçacıklar yerçekimi

kuvvetleri nedeniyle flok oluşturur ve dibe çökerler. Biyolojik arıttaki mikroorganizma varlığının iyi oluşu flok oluşumunu hızlandırır ve dibe çökme daha iyi gerçekleşir.

Arıtılmış gri sudan elde edilen AKM deney sonuçları 4 - 20 mg/L (Tablo 5.2.) olarak ölçülmüştür. Yapılan tüm çalışmalar göz önüne alındığında AKM %94-99'luk giderme verimliliği sergilemiştir. AKM'de oluşan azalma, fiziksel arıtım süreciyle açıklanabilir. Elekten geçemeyen katı parçacıklar AKM oranında düşüşe destek olmuşlardır. Var olan çamurun varlığı ve yapısındaki canlılık çökmeyi ve dolayısıyla AKM oranını etkilemiştir. Gri suyu AKR sisteminde 2,5 günlük HRT sürecinde arıtan Lamine ve ark.(2007), AKM için %46 oranında giderim sağladıklarını bildirmişlerdir. Ramona ve ark.(2004), AKR reaktöründe arıtmış oldukları gri suyun AKM giderme oranının %48 olarak bildirmişlerdir. Biyolojik reaktörler AKM gideriminde etkilidirler. Kaliteli flok oluşumu çamurun birbirine tutunan parçacıklar oluşturması AKM oranını etkilemektedir. Çamur yaşı 12,5 günden sonra AKM'de ani bir yükseliş gerçekleşmiştir. Genel olarak elde edilen verim %96-99 (Şekil 5.3.) olarak hesaplanmıştır. AKR reaktörü elde edilen verim neticesinde AKM giderimini giderebilmektedir.

5.4. Gri Su Arıtımında Toplam Azot Giderimi

AKR'nin aerobik ve anoksik aşamaları sırayla koruyarak tek bir reaktörde biyolojik azot giderimi gerçekleştirebilmesi gri suların arıtımı için alternatiftir. AKR prosesleri karbon ve nitrojen bileşiklerinin uzaklaştırılmasında etkilidir. Azotun gri sudan uzaklaştırılması için mekanizma, azotun aerobik bakteriler tarafından yok edilmesinden kaynaklanmaktadır. Reaktörde bulunan çeşitli mikroorganizmaların büyüme durumu ve fazı, amonyum veya azotla ilişkili formların giderilme oranını belirleyen önemli bir faktördür.

Aerobik AKR'lerle gri su arıtımı iyi bir organik indirgeme göstermesine rağmen, bu sistemler yüksek besin giderimi için etkili değildir. 25 günlük çamur yaşında 1 – 4,2 mg/L (Tablo 5.2.) toplam azot değerleri elde edilmiştir. Yapılan literatür çalışmalarında Khuntia ve ark.(2021), AKR reaktöründe 2,25 günlük HRT'de

arıttıkları gri suyun toplam azot verimini %54,23 olarak bildirmişlerdir. Leal ve ark.(2012), 1 günlük HRT’de toplam azot giderimini %35-72 olarak bildirmişlerdir. Yapılan çalışmada elde edilen verim %82-95 arasında olmuştur. Literatürde elde edilen sonuçlardan daha iyi bir toplam azot giderimi pilot ölçekli AKR reaktöründe gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5.2. AKR çıkış suyunun deneysel çalışma sırasına göre parametrelerdeki değişiklikler (2,5 günlük HRT’de 25 günlük çalışma)

Çalışma	pH	Elektiriksel İletkenlik (μ S/cm)	Çözünmüş Oksijen (mg/L)	Bulanıklık (NTU)	Askıda Katı Madde(AKM) (mg/L)	Fosfat (mg/L)	Toplam Azot (mg/L)	Kimyasal Oksijen İhtiyacı(KOI) (mg/L)	Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ) (mg/L)
1	7,97	859	8,2	0,88	8	4,7	4,2	180,3	6,17
2	7,94	803	8,79	1,73	10	3,3	3	154,4	5,28
3	8,04	815	9,04	1,08	6	4,6	1,8	137,9	4,7
4	8,16	818	9,13	2,12	6	4,7	2	142,2	4,87
5	8,31	827	8,19	3,17	4	4,3	3	80,8	2,77
6	8,24	850	7,49	2,65	12	4,2	2,9	94,5	3,22
7	8,26	844	7,2	2,87	10	3,4	1,2	216,2	6,17
8	8,2	879	6,14	2,53	8	4	1	204,9	7
9	7,87	930	4,98	2,09	20	6,7	1,7	280,5	9,6
10	8,17	979	5,19	2,75	16	13	2,4	247,1	8,47

5.5. Gri Su Arıtımında Fosfat Giderimi

Bir aktif çamur sisteminde fosfat biriktiren organizmaların (PAO'lar) büyümesini sağlamak için, aerobik reaktör ve yağ asitlerinin varlığı gereklidir. Gri su, yağ tutucu ünitesinde uzun süreli kaldığından aynı zamanda muhafaza edilirken de, uçucu yağ asitlerinin oluşabileceği bir asit fermentasyonu geçirebilir. Havalandırmanın başlangıcından reaksiyon aralığının sonuna kadar, fosfatı indirmek ve hücrelerde poli fosfat olarak depolamaktan sorumlu mikroorganizmaların varlığından dolayı fosfat konsantrasyonunda bir azalma meydana gelebilmektedir.

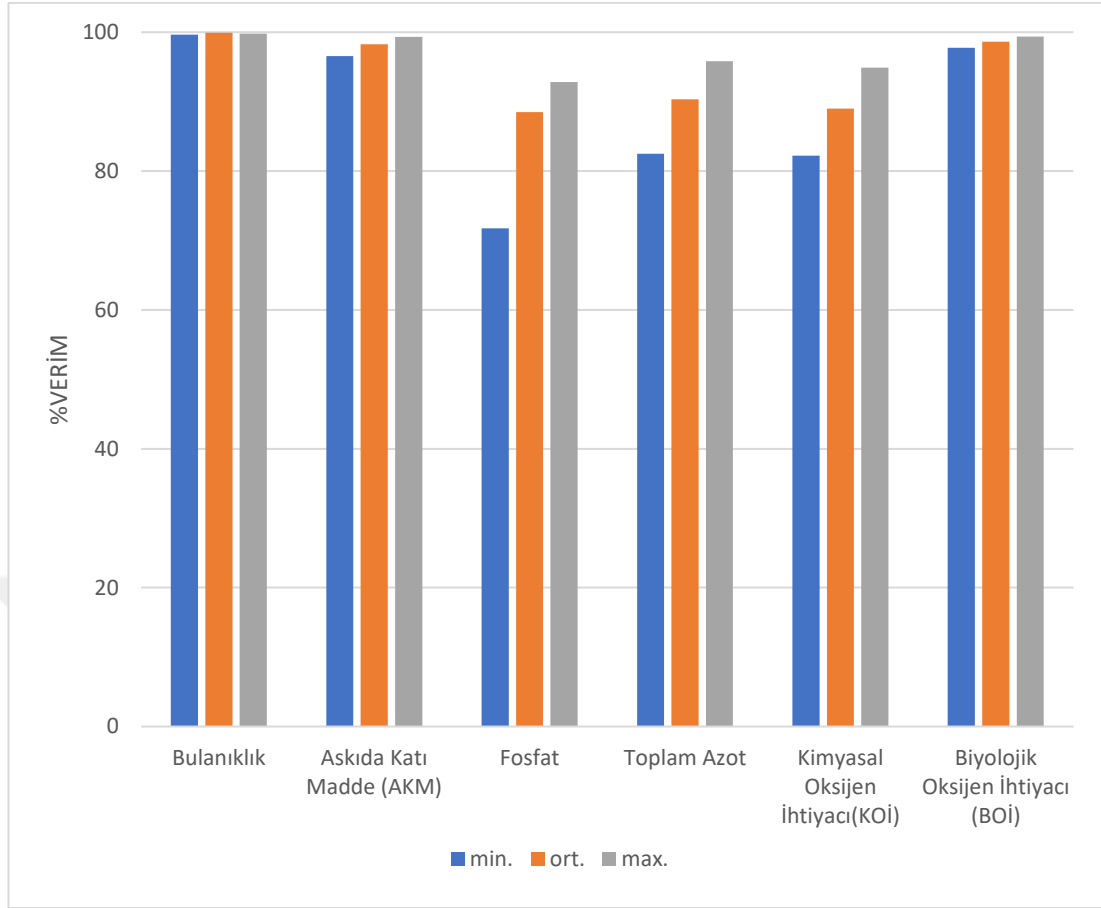
Arıtılmış gri sudan elde edilen fosfat sonuçları 3,3 – 13 mg/L (Tablo 5.2.) olarak ölçülmüştür. Literatürde Lamine ve ark.(2007), AKR reaktöründe arıttıkları gri

suyun 2,5 günlük HRT’de çalıştırılması sonucu fosfat değerinin 2,8 – 11,3 mg/L aralığında olduğunu bildirmişlerdir. Khuntia ve ark.(2021), AKR reaktöründe gri suyu 2,25 gün HRT’de işletmeleri sonucu toplam fosfor giderimini %96.42 oranında giderildiğini bildirmişlerdir. Çalışmalar sonucunda elde edilen verim %71-97 (Şekil 5.3.) olmuştur.

5.6. Gri Su Arıtımında KOİ Giderimi

KOİ, çözültide bulunan inorganik ve organik maddelerin reaksiyonları ile kullanılabilecek oksijen miktarının bir göstergesidir. KOİ, kirlilik derecesini ölçmek için bir parametre olarak kabul edilir. KOİ’nin çoğu, aynı zamanda gri sudaki birincil fosfat (PO_4) ve sodyum (Na) kaynağı olan bulaşık ve çamaşır deterjanları gibi ev kimyasallarından kaynaklanır. Çevreye giderimi olmadan deşarj edilirse, biyolojik stabilizasyon doğal oksijen kaynaklarının tükenmesine ve septik koşulların gelişmesine yol açabilmektedir.

Aerobik AKR işleminin 2,5 günlük HRT’de ortalama çıkış KOİ’si 173,9 mg/L ve ortalama giderim verimliliği yaklaşık %89 iken giren KOİ değeri 1573 mg/L’dir. Arıtılmış gri sudan elde edilen KOİ sonuçları 80,8 – 280,5 mg/L (Tablo 5.2.) olarak ölçülmüştür. 25 günlük çamur yaşında KOİ giderim verimliliği Şekil 5.3.’te gösterilmektedir. 15 günlük çamur yaşında elde edilen KOİ verimi max. verim olarak gözlemlenmiştir. Şekil 5.3’e düşük ile orta KOİ giderim verimliliğinin sebebi ana karbon substratındaki değişiklikten kaynaklanabilmektedir. AKR reaktöründe gri suyu arıtan çalışmalarda elde edilen sonuçlarda da Leal ve ark.(2012), %90-98 KOİ giderim verimi ve Gabarro ve ark.(2013), %60 KOİ’de verim elde ettiklerini bildirmişlerdir. Khuntia ve ark.(2021), AKR reaktörünü 2,25 günlük HRT’de çalıştırdıklarında KOİ verimini %93,23 olduğunu bildirmişlerdir. Lamine ve ark.(2007), 2,5 günlük HRT’de KOİ gideriminde %90 üzerinde verim elde ettiklerini bildirmişlerdir. 2,5 günlük HRT’de yaptığımız 25 günlük reaktör çalışmasında elde edilen verim % 82-94 arasında olmuştur. Literatürdeki giderimle örtüşen KOİ giderim verimleri elde edilmiştir.



Şekil 5.3. Gri suyun 2,5 günlük HRT’de parametrelerin verim değerleri

5.7. Gri Su Arıtımında BOİ Giderimi

Biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), yalnızca biyolojik olarak parçalanabilen organikleri ölçmektedir. BOİ, atık su ve kirli suların nispi oksijen gereksinimlerini belirlemek için standartlaştırılmış laboratuvar prosedürlerinin kullanıldığı deneysel bir testtir. BOİ genellikle, aerobik biyolojik organizmaların bir atık su örneğinde bulunan organik materyali belirli bir sıcaklıkta ve belirli bir süre boyunca arıtmak için ihtiyaç duyduğu çözünmüş oksijen miktarını belirtmek için kullanılır. BOİ’deki azalma, mikropların tüketmesi daha kolay olan küçük oksijenli organik bileşik türlerinin oluşumuna, mikrobiyal saldırıya daha uygun hale gelmesine ve bakteriyel bileşenlerin azalmasına bağlanabilmektedir.

Çözünür ve toplam BOİ ölçülmüştür. Gri suyun BOİ’si 428 mg/L idi. 2,5 günlük HRT süresinde çalışan reaktörün BOİ değeri 2,77 – 9,6 mg/L (Tablo 5.2.) olarak

ölçülmüştür. Şekil 5.3.'te BOİ azaltmada reaktör verimi gösterilmektedir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde Lamine ve ark.(2007), 2,5 günlük HRT'de BOİ verimini %95 olarak Leal ve ark.(2012), AKR reaktöründe arıttıkları gri suda BOİ giderim verimini %90-98 civarında olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan çalışmada AKR reaktöründe arıtılan gri suyun çıkış BOİ verimi %97-99(Şekil 5.3.) aralığında olduğu elde edilmiştir.



Şekil 5.4. Gerçek gri su numunesi ve arıtılmış gri su numunesi

BÖLÜM 6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada evsel atıksulardan ayrı olarak toplanan, tuvalet sularının dışındaki atıksuları içeren gri suyun, ardışık kesikli reaktör ile arıtılması sonucu giderim prosesi incelenmiştir. Sistemde gri suyun giderim verimini arttırmak için fiziksel arıtım ve aerobik arıtım kullanılmıştır. Öncelikle arıtma işleminin performansı, iki farklı hidrolik bekleme sürelerinde (HRT'ler) değerlendirilmiştir. İncelenen gri su numunelerinde elde edilen konsantrasyonlar kullanılan numunenin yoğun kirli gri su karakterinde olduğunu göstermektedir. Gri suyun özelliklerindeki çeşitlilik, temel olarak insan ihtiyaçlarını karşılamak için farklı evsel faaliyetlerde kullanılan suyun kalitesinden kaynaklanmaktadır.

AKR reaktöründe hidrolik sürenin verim üzerindeki etkisini belirlemek için uygulanan 1 günlük ve 2,5 günlük çalışmalardan elde edilen pH değeri ortalama 7.5 oldu. Son çalışmada AKR reaktöründe uygulanan biyolojik arıtmaya ek fiziksel arıtımla reaktöre eklenen gri suyun çıkış pH değeri ortalama 8.1 olmuştur. WHO(2006) tarafından yayınlanan klavuzda yeniden kullanım alanında bahçe sulama amaçlı kullanımda pH 5-9 aralığında olmalıdır. Atıksu arıtma tesisi(AAT) deşarj standartlarından pH sonuçları 6,5-10 mg/L aralığında olmalıdır. pH için belirlenmiş bu aralıklar tüm çalışmalarda sağlanmıştır. Gri su numunesini elekten geçirmek pH değerini arttırmıştır. Elektriksel iletkenlikte yapılan tüm çalışmalar gözden geçirildiğinde elde edilen sonuçlar iletkenlik gideriminde AKR reaktörünün etkili olmadığı düşünülmektedir. Çözünmüş oksijen miktarı yüksek seviyelerde gözlemlenmiştir. Çalışmanın ilerlemesi ve dolayısıyla çamur yaşının ilerlemesiyle çözünmüş oksijen miktarında düşüş gerçekleşmiştir.

Bulanıklıkta önemli bir değişiklik görülmemiştir. Tüm çalışmalarda verim %97'nin üzerinde olmuştur. AKM yüksek oranda giderilen bir diğer parametre olmuş tüm

alışmalar gözden geçirildiğinde %97-99 aralığında verim elde edilmiştir. AAT deşarj standarlarından AKM için belirlenen max. değer 500 mg/L'dir. Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği'nde (KAAY) ileri arıtım prosesleri sonrası elde edilen sonuçlarda AKM değeri 35 mg/L'nin altında olmalıdır. Çalışma sonucu elde edilen arıtımla AKM seviyelerindeki sonuçlar verilen sınırlamaları karşılar düzeydedir.

Fosfat gideriminde elde edilen verim ortalama %88 olmuştur. Reaktörün başlangıcında elde edilen fosfat verimi %89 iken 25 günlük çalışma sonrası verim %71'e kadar düşüş sağlamıştır. AKR reaktörü aerobik bir aktif çamur prosesi olduğundan gerçekleşen düşüşün çamurun fosfatlı bileşiklere doymuş olmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. AKR reaktörü 1 günlük ve 2,5 günlük çalışmada toplam azot için elde edilen ortalama verim %57 olmuştur. Toplam azot giderimini daha yüksek seviyelere çıkarmak için fiziksel arıtım yöntemi olarak elekten geçirilme işlemi AKR reaktöründen önce uygulanmıştır. Bu şekilde yeni tasarlanan arıtım sonrası toplam azotta elde edilen verim ortalama %90 olarak hesaplanmıştır. İlk lmde elde edilen verim %82 olmuş sonraki günlerde elde edilen verim %87-95 aralığında değişkenlik göstermiştir. Gri su numunesinin mutfak gri suyunu içeriyor olması azot miktarındaki önemli artışa sebeptir. Elekten geçirme işlemiyle azot yüklü katı parçacıklar arıtımın dışında tutulmuş ve sistem verimi fiziksel arıtımın eklenmesiyle 2,5 günlük çalışmalarda elde edilen kıyaslama doğrultusunda %57 civarındaki verimden %90 verime kadar çıkarılmıştır. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği(SKKY)'nde, toplam azot konsantrasyonlarıyla ilgili sınır değerler bulunmamaktadır (SKKY, 2008). Bununla birlikte, KAAY'nde ileri arıtıma prosesleri çıkış sularında toplam azot konsantrasyonu için sınır değer 15 mg/L olarak belirtilmiştir (KAAY, 2006). Yapılan son çalışmada toplam azot 15 mg/L'nin altında tutulmuştur.

Genel olarak bakıldığında KOİ ve BOİ'nin giderilme oranları %90 civarında llmştir. Sistem 2,5 günlük HRT ile başlatıldığında KOİ giderim verimliliği yaklaşık %86'da başlamış ve 10. günden sonra yaklaşık %95'e yükselmiştir. Çamur yaşı 10. günde elde edilen max. verim sonrası AKR, 25. gün sonunda ortalama %89'luk bir verim oranında dalgalanmalı bir performans göstermiştir. WHO'ya göre

(2006) , KOİ'si 100 mg/L'nin altında olan arıtılmış sular sulama amaçlı kullanım için uygundur. Çalışma sonrası elde edilen KOİ miktarları gözden geçirildiğinde sadece 12,5 ve 15 günlük çamur yaşında 100 mg/L'nin altında tutulduğu diğer tüm günlerde KOİ oranının 100 mg/L'nin üstünde çıktığı gözlemlenmiştir. Ayrıca KAAY(2006)'ğinde ileri arıtma prosesleri çıkış sularında KOİ değeri 125 mg/L'nin altında olmalıdır. Elde edilen sonuçlar gözden geçirildiğinde 10 tekrarlı 25 günlük çalışmada sadece 2 ölçümde 125 mg/L altında sonuç elde edilmiştir. 25 günlük çalışmadan sonra, 2,5 günlük HRT'nin BOİ üzerindeki etkisi ortalama %98 verim elde edilmiştir. Sistem başlatıldığında da ilk 2,5 günlük çalışma sonrası %98 verim elde edilmiştir. BOİ giderimi için AKR reaktörü stabil performan sergilemiştir.WHO'ya göre (2006) BOİ'si 20 mg/L altında olan arıtılmış sular sulama amaçlı kullanım için uygundur. KAAY(2006)'ğinde ileri arıtma prosesleri çıkış sularında BOİ değeri 25 mg/L'nin altında olmalıdır. BOİ parametresinde elde edilen sonuçlar her zaman 20 mg/L altında olmuştur.

Bu çalışmada, AKR fiziksel arıtımla birlikte kabul edilebilir bir performans göstermiştir. Reaktörde hidrolik sürenin belirlenmesi sistemi öğrenme açısından kazanç sağlamıştır. Kurulmuş AKR reaktörü gri suyun arıtılmasında verimli ve pratik bir sistemdir.

Yapılmış olan mevcut çalışmada sistemin verimliliği gözden geçirilmiştir. AKR reaktörü yeniden kullanım için gri su arıtımında sürdürülebilir bir seçenek olabilir. Yeniden kullanım türünün bahçe sulama, tuvalet sifonunda kullanma, oto yıkama vb. gibi insan temasının olmayacağı kullanım türlerini hedef alarak kullanıcak teknolojinin yeniden gözden geçirilmesi gereklidir. Tek bir yöntemin tüm yeniden kullanım standartlarını karşılayamayacağı gözlemlendiğinden yeniden kullanım türünü belirleyerek farklı teknolojilerin kombinasyonu ile akış diyagramının geliştirilmesine ihtiyaç olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdalla, H., Rahmat-Ullah, Z., Abdallah, M., Alsmadi, S., Elashwah, N., 2021. Eco-efficiency, resources, conservation and recycling of integrated gray and black water management systems. *Resources, Conservation and Recycling*, 172, 105681.
- Abdelhay, A., Abunaser, S.G., 2021. Modeling and economic analysis of greywater treatment in rural areas in Jordan using a novel vertical-flow constructed wetland. *Environmental Management*, 67(3): 477-488.
- Abdel-Kader, A.M., 2013. Studying the efficiency of grey water treatment by using rotating biological contactors system. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 25(2), 89-95.
- Abed, S.N., Almuktar, S.A., Scholz, M., 2020. Impact of storage time on characteristics of synthetic greywater for two different pollutant strengths to be treated or recycled. *Water, Air & Soil Pollution*, 231(5), 1-18.
- Adav, S.S., Lee, D.J., Show, K.Y., Tay, J.H., 2008. Aerobic granular sludge: Recent advances. *Biotechnology Advances*, 26(5), 411-423.
- Ahmadi, M., Ghanbari, F., 2016. Optimizing COD removal from greywater by photoelectro-persulfate process using Box-Behnken design: assessment of effluent quality and electrical energy consumption. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(19), 19350-19361.
- Akın, B.S., Uğurlu, A., 2005. Monitoring and control of biological nutrient removal in a sequencing batch reactor. *Process Biochemistry*, 40(8), 2873-2878.
- Al-Gheethi, A.A., Radin Mohammed, R.M.S., Efaq, A.N., Amir Hashim, M.K., 2016. Reduction of microbial risk associated with greywater by disinfection processes for irrigation. *Journal of Water & Health*, 14(3), 379-398.
- Almeida, M. C., Butler, D., Friedler, E., 1999. At-source domestic wastewater quality. *Urban Water*, 1(1), 49-55.
- Amaris, G., Dawson, R., Gironas, J., Hess, S., Ortuzar, J.D., 2020. Understanding the preferences for different types of urban greywater uses and the impact of qualitative attributes. *Water Research*, 184, 116007.
- Arden, S., Ma, X., 2018. Constructed wetlands for greywater recycle and reuse: A review. *Science of the Total Environment*, 630, 587-599.
- Arnell, N.W., Van Vuuren, D.P., Isaac, M., 2011. The implications of climate policy for the impacts of climate change on global water resources. *Global Environmental Change*, 21(2), 592-603.

- Arrojo, B., Mosquare-Corral, A., Garrido, J.M., Mendez, R., 2004. Aeoric granulation with industrial wastewater in sequencing batch reactors. *Water Research*, 38(14-15), 3389-3399.
- Asfaha, Y.G., Tekile, A.K., Zewge F., 2021. Hybrid process of electrocoagulation and electrooxidation system for wastewater treatment:A review. *Cleaner Engineering and Technology*, 4, 100261.
- Assayed, A., Hatokay, Z., Al-Zoubi, R., Azzam, S., Bailat, M., Al-Ulayyan, A., 2013. On - site rainwater harvesting to achieve household water security among rural and peri-urban communities in Jordan. *Resources, Conservation and Recycling*, 73, 72-77.
- Atanasova, N., Dalmau, M., Comas, J., Poch, M., Rodriguez- Roda, I., Buttiglieri, G., 2017. Optimized MBR for greywater reuse systems in hotel facilities. *Journal of Environmental Management*, 193, 503-511.
- Athullya, M.K., Dineep, D., Mathew, M.L., Aravindakumar, C.T., Aravind, U.K., 2022. Identification of micropollutants from graywater of different complexity and remediation using multilayered membranes. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(3), 4206-4218.
- Aulenbach, D.B., 1968. Water-our second most important natural resource. *Boston Collage Lav Review*, 9, 535-552.
- Barışçi, S., Turkay, Ö., 2016. Domestic greywater treatment by electrocoagulation using hybrid electrode combinations. *Journal of Water Process Engineering*, 10, 56-66.
- Bilotta, G.S., Brazier, R.E., 2008. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Research*, 42(12), 2849-2861.
- Birks, R., Colbourne, S., Hills, S., Hobson, R., 2004. Microbiological water quality in a large in building, water recycling facility. *Water Science & Technology*, 50(2), 165-172.
- Boyer, A., Lay Y., Marthy P., 2021. Coping with scarcity: the construction of the water conservation mandate in newspapers (1992-208), *Global Environmental Change*, 71, 102387.
- Boyjoo, Y., Pareek, V.K., Ang, M., 2013. A review of greywater characteristics and treatment processes. *Water Sciende & Technology*, 67(7), 1403-1424.
- Braga, J.K., Varesche, M.B.A., 2014. Commercial laundry water characterization. *Am. J. Anal. Chem*, 5, 8-16.
- Burnat, J., Mahmoud, N., 2005. Evaluation of on-site grey wastewater treatment plants performance in Bilien and Biet-Diko villages, Palestine. *Bridging the Gap Conference*, Jordan.
- Chan, Y.J., Chong, M.F., Law, C.L., Hassel, D.G., 2009. A review on anaerobic-aerobic treatment of industrial and municipal wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 155(1-2), 1-18.
- Christova-Boal, D., Eden, R.E., McFarlane, S., 1995. An investigation into greywater reuse for urban residential propersies. *Desalination*, 106(1-3), 391-397.

- Collivignarelli, M.C., Miino, M.C., Gomez, F.H., Torretta, V., Rada, E.C., Sorlini, S., 2020. Horizontal flow constructed wetland for greywater treatment and reuse: an experimental case. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 17-7, 2317.
- Çiçek, İ., Ataol, M., 2009. Türkiye'nin su potansiyelinin belirlenmesinde yeni bir yaklaşım. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 7(1), 51-64.
- De Fraiture, C., Wichelns, D., 2010. Satisfying future water demands for agri culture. *Agricultural Water Management*, 97(4), 502-511.
- Dhiman, V.K., Singh, J., Kanoungo, A., Goyal, A., Singh, Y., 2022. Reuse of grey water generated from high rise educational building. *Materials Today: Proceedings*.
- Dixon, A., Butler, D., Fewkes, A., Robinson, M., 1999. Measurement and modelling of quality changes in stored untreated grey water. *Urban Water*, 1(4), 293-306.
- Dolnicar, S., Schafer, A.I., 2009. Desalinated versus recycled water: public perceptions and profiles of the accepters. *Journal of Environmental Management*, 90(2), 888-900.
- Domènech, L., Saurí, D., 2010. Socio-technical transitions in water scarcity contexts: Public acceptance of greywater reuse technologies in the Metropolitan Area of Barcelona. *Conservation and Recycling*, 55(1), 53-62.
- Edwin, G.A., Gopalsamy, P., Muthu, N., 2014. Characterization of domestic gray water from point source to determine the potential for urban residential reuse: a short review. *Applied Water Science*, 4(1), 39-49.
- Efe, H., 2017. An Analysis On Grey Water Source Separation As An Alternative For Conventional Wastewater Management Using The Case Of Kocaeli Yenikent Neighborhood. Istanbul Technical University, Graduate School Of Science Engineering And Technology, Department of Environmental Engineering, Master's Thesis.
- Erdinç, G., 2001. Ardışık Kesikli Reaktörler İçin Maliyet Analizi Ve İndeks Geliştirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., Ledin, A., 2002. Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, 4(1), 85-104.
- Eriksson, E., Donner, E., 2009. Metals in greywater: Sources, presence and removal efficiencies. *Desalination*, 248(1-3), 271-278.
- Eriksson, E., Srigirisetty, S., Eilersen, A.M., 2010. Organic matter and heavy metals in grey-water sludge. *Water SA*, 36(1), 139-142.
- Eshetumoges, M., Todt, D., Eregno, F.E., Heistad, A., 2017. Performance study of biofilter system for on-site greywater treatment at cottages and small households. *Ecological Engineering*, 105, 118-124.
- Etchepare, R., Hoek, J., P., 2015. Health risk assessment of organic micropollutants in greywater for potable reuse. *Water Research*, 72, 186-198.

- Fountoulakis, M.S., Markakis, N., Petousi, I., Manios, T., 2016. Single house on-site grey water treatment using a submerged membrane bioreactor for toilet flushing. *Science of The Total Environment*, 551, 706-711.
- Friedler, E., 2004. Quality of individual domestic greywater streams and its implication for on-site treatment and reuse possibilities. *Environmental Technology*, 25(9), 997-1008.
- Friedler, E., Chavez, D.F., Alfiya, Y., Gilboa, Y., Gross, A., 2021. Impact of suspended solids and organic matter on chlorine and UV disinfection efficiency of greywater. *Water*, 13(2), 214.
- Friedler, E., Kovalio, R., Galil, N.I., 2005. On-site greywater treatment and reuse in multi-storey buildings. *Water Science Technology*, 51(10), 187-194.
- Fu, Q., Zheng, B., Zhao, X., Wang, L., Liu C., 2012. Ammonia pollution characteristics of centralized drinking water sources in China. *Journal of Environmental Sciences*, 24(10), 1739–1743.
- Gabarro, J., Batchelli, L., Balaguer, M.D., Puing, S., Colprim, J., 2013. Grey water treatment at a sports centre for reuse in irrigation: A case study. *Environmental Technology*, 34(11), 1385-1392.
- Geary, P.M., Stafford, D., Whitehead, J.H., 2005. On-site Domestic Wastewater Treatment and Reuse. *Environment Design Guide*, 1-12.
- Geerdink R.B., Hurk, R.S., Epema, O.J., 2017. Chemical oxygen demand: Historical perspectives and future challenges. *Analytica Chimica Acta*, 961, 1-11.
- Ghaitidak, D.M., Yadav, K.D., 2013. Characteristics and treatment of greywater—A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(5), 2795-2809.
- Ghunmi, A., Zeeman, G., Van Lier, J., Fayyad, M., 2011. Greywater treatment systems: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(7), 657-698.
- Gosling, S.N., Arnell, N.W., 2016. A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. *Climatic Change*, 134(3), 371-385.
- Gökmen, K., 2020. Yüzey Aktif Madde İçeren Çamaşır Makine Atık Sularının Elektrokoagülasyon Yöntemi ile Arıtımı Ve Geri Kazanım Potansiyeli. Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Gross, A., Shmueli O., Ronen Z., Raveh E., 2007. Recycled vertical flow constructed wetland(RVFCW)-a novel method of recycling greywater for irrigation in small communities and households. *Chemosphere*, 66(5), 916-923.
- Guo, J., Yang, Q., Peng, Y., Yang, A., Wang, S., 2007. Biological nitrogen removal with real-time control using step-feed SBR technology. *Enzyme and Microbial Technology*, 40(6), 1564–1569.
- Hachicha, R., Fersi, M., Jedidi, N., Mechichi, T., Hassen, A., Hachicha, R., 2022. Greywater treatment with two planted vertical constructed wetlands in series: A pilot study. *CLEAN—Soil, Air, Water*, 50-9, 2100118.

- Houshia, O.J., Abueid, M., Daghlaz, A., Azid, M., Zaid, O., Al-Ammor, J., Aouqia, N., Alary, R., Sholi, N., 2012. Characteristics of Grey Water from Country-Side Decentralized Water Treatment Stations in Northern Palestine. *Journal of Environmental and Earth Science*, 2(2), 1-9.
- Hristov, Ü., Barreiro-Hurle, I., Salputra, G., Blanco, M., Witzke, P., 2021. Reuse of Treated Water in European Agriculture: The Potential to Relieve Water Scarcity Under Climate Change, *Agricultural Water Management*, 251, 106872.
- <https://www.csbe.org/greywater-reuse-in-jordan> Erişim Tarihi: 06.04.2022
- <https://www.greenfacts.org/tr/water-resources/water-resources-foldout-tr.pdf> Erişim Tarihi: 17.03.2022
- <https://www.grida.no/resources/5608> Erişim Tarihi: 06.04.2022
- <http://www.un.org/en/development/desa/news/population/world-urbanization-prospects-2014.html> Erişim Tarihi:18.03.2022
- <http://data.worldbank.org/indicator?display=graph>. Erişim Tarihi: 18.03.2022
- <http://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.FWIN.ZS/countries/1WTR?display=default>. Erişim Tarihi:18.03.2022
- Huang, Z., Yuan, X., Liu, X., 2021. One of the key drivers of changes in global water scarcity: withdrawal and water availability, *Journal of Hydrology*, 601, 126658.
- Jamrah, A., Al-Futaisi, A., Ahmed, M., Prathapar, S., Al-Harrasi, A., Al-Abri, A., 2007. Biological treatment of greywater using sequencing batch reactor technology. *International Journal of Environmental Studies*, 65(1), 71-85.
- Jefferson, B., Judd, S., and Diaper, C., 2001. Treatment methods for grey water. In *Decentralised sanitation and Reuse*. London.
- Jefferson, B., Palmer, A., Jeffery, P., Stuetz, R., Judd, S., 2004. Greywater characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse. *Water Sci & Technol*, 50(2), 157-164.
- Jefferson, B., Winward, G.P., Avery, L.M., Stephenson, T., 2007. Essential oils for the disinfection of grey water. *Water Research*, 42(8-9), 2260-2268.
- Jeppesen, B., 1996. Domestic greywater re-use: Australia's challenge for the future. *Desalination*, 106(1-3), 311-31.
- Judd, S., 2010. *The MBR book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment*. Elsevier.
- KAAY, 2006. Kentsel atıksu arıtımı yönetmeliği, Tablo 1, Tablo 2. KENTSEL ATIKSU ARITIMI YÖNETMELİĞİ (mevzuat.gov.tr) Erişim Tarihi:08.12.2022
- Kaminska, G., Marszalek, A., 2019. Advanced treatment of real grey water by SBR followed by ultrafiltration-performance and fouling behavior. *Water*, 12(1), 154.
- Kariuki, F.W., Nganga, V.G., Kotut, K., 2012. Hydrochemical characteristics, plant nutrients and metals in household greywater and soils in homabay town. *The Open Environmental Engineering Journal*, 5, 103-109.

- Kaur, T., Babu, K. S., 2010. Characterization AND Treatability Studies ON Grey Water OF Domestic Activities. Doctoral dissertation.
- Khalil, A., 2017. Domestic grey water treatment and recovery to meet up the standards of characteristics of irrigation water. Department of Chemical Engineering, The Eighth Jordan International Chemical Engineering Conference.
- Khalil M., Liu, Y., 2021. Greywater biodegradability and biological treatment Technologies: A critical review. *International Biodeterioration&Biodegradation*, 161, 105211.
- Khanam, K., Patidar, S.K., 2022. Greywater characteristics in developed and developing countries. *Materials Today: Proceedings*, 57, 1494-1499.
- Khondabi, V.G., Fazlali, A., Zolfaghari, M., 2018. Bathroom greywater treatment using advanced sequencing batch reactor(SBR).
- Khuntia, H.K., Sushmitha, M.B., Hameed, S., Janardhana, N., Karthik, M.G., Madhuri, K.S, Chanakya, H.N., 2021. Bench scale demonstration of greywater treatment in a 3-stage sequential process comprising anaerobic, aerobic, and vertical greenery system. *Journal of Water Process Engineering*, 43, 102246.
- Kitchener, B.G.B., Wainwright, J., Parsons, A.J., 2017. A review of the principles of turbidity measurement. *Progress in Physical Geography*, 41(5), 620-642.
- Kolecka, K., Gajewsha, M., Cyawa, S., Stephowski, P., Caban, M., 2020. Is sequential batch reactor an effective technology to protect against non-steroidal anti-inflammatory drugs and paracetamols in recipient-treated wastewater. *Bioresource Technology*, 318.
- Krishnan, V., Ahmad, D., Jeru, J.B., 2008. Influence of COD:N:P ratio on dark greywater treatment using a sequencing batch reactor. *Journal of Chemical Technology and Biorechnology*, 83(5), 756-762.
- Krzeminski, P., Van der Graaf, J.H.J.M., Van Lier, J.B., 2012. Specific energy consumption of membrane bioreactor(MBR) for sewage treatment. *WaterScience&Technology*, 65(2), 380-392.
- Kummu, M., Guillaume, J.H.A., Moel, H.D., Eisner, S., Flörke, M., Porkka, M., Siebert, S., Veldkamp, T.I.E., Ward, P.J., 2016. The world's road to water scarcity: shortage and stress in the 20th century and pathways towards sustainability. *Scientific Reports*, 6(1), 1-16.
- Kurniawan, S., Novarini, Yuliwati, E., Ariyanto, E., Morsin, M., Sanudin, R., Nafisah, S., 2021. Greywater treatment technologies for aquaculture safety: Review. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*.
- Kutlu, S., 2017. Gri Suların Elde Edilme Ve Kullanım Potansiyelinin Alanya İlçesi İçin Son Teknolojik Gelişmeler Açısından Değerlendirilmesi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Lakho, F.H., Quan Le, H., Kerkhove, F.V., Igodt, W., Depuydt, V., Desloover, J., Rousseau, D.P.L., Van Hulle, S.W.H., 2020. Water treatment and re-use at temporary events using a mobile constructed wetland and drinking water production system. *Science of the Total Environment*, 737, 139630.

- Lamichhane, J., Upadhyaya, B.B., Chalise, N., Makaju, S., 2011. Evaluation of waste water treatment units located at different parts of Nepal. *Nepal Journal of Science and Technology*, 12, 201-210.
- Lamine, M., Bousselmi, L., Ghrabi, A., 2007. Biological treatment of grey water using sequencing batch reactor. *Desalination*, 215(1-3), 127-132.
- Lannergard, E.E., Agstam-Norlin, O., Huser, B.J., Sandström, S., Rakovic, J., Futter, M.N., 2019. New insights into legacy phosphorus from fractionation of streambed sediment. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 125(9).
- Lazarova, V., Hills, S., Birks, R., 2003. Using recycled water for non-potable, urban uses: a review with particular reference to toilet flushing. *Water Supply*, 3(4), 69-77.
- Leal, L.H., Soeter, A.M., Kools, S.A.E., Kraak, M.H.S., Parsons, J.R., Temmink, H., Zeeman, G., Buisman, C.J.N., 2012. Ecotoxicological assessment of grey water treatment systems with *daphnia magna* and *chironomus riparius*. *Water Research*, 46(4), 1038–1044.
- Leong, J.Y.C., Siang Oh, K., Eong Poh, P., Chong, M.N., 2017. Prospects of hybrid rainwater-greywater decentralised system for water recycling and reuse: A review. *Journal of Cleaner Production*, 142, 3014-3027.
- Li, F., Wichmann K., Otterpohl R., 2009. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of the Total Environment*, 407(11), 3439-3449.
- Lingavale, T.M., Patil, S.T., Kadam, U.S., Pendurkar, L.A., 2022. Study of effect of the hydraulic retention time on grey water quality. *The Pharma Innovation Journal*, 11(9), 2371-2374.
- Liu, S., Butler, D., Memon, F.A., Makropoulos, C., Avery, L. and Jefferson, B., 2010. Impacts of residence time during storage on potential of water saving for grey water recycling system. *Water Research*, 44(1), 267-277.
- Ludwig, A., 2015. Oasis with Grey water Integrated Design for Water Conservation Reuse. *Rainwater Harvesting&Sustainable Landscaping*, 1991, 49-85.
- Mahmoudi, A., Mousavi, S.A., Darvishi, P., 2021. Greywater as a sustainable source for development of green roofs: Characteristics, treatment technologies, reuse, case studies and future developments. *Journal of Environmental Management*, 295, 112991.
- Majumder, A., Gupta, A.K., Ghosal, P.S., Varma, M., 2021. A review on hospital wastewater treatment: A special emphasis on occurrence and removal of pharmaceutically active compounds, resistant microorganisms, and SARS-CoV-2. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(2), 104812.
- Mandal, H.K., 2014. Influence of wastewater pH on turbidity. *International Journal of Environmental Research and Development*, 4(2), 105-114.
- Mays, D.C., Hunt, R.J., 2005. Hydrodynamic aspects of particle clogging in porous media. *Environmental Science and Technology*, 39(2), 577–584.

- Morel, A, Diener, S., 2006. Grey water management in low and middle-income countries. Water and sanitation in developing countries (Sandec). Eawag, Switzerland: Swiss Federal institute of Aquatic Science and Technology.
- More, P., Soman, H.S., Patel, A., Shirke, G., Pannase, D., 2022. Iot based real time water quality monitoring system. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 3(4), 2149-2154.
- Mousazadeh, M., Niaragh, E.K., Usman, M., Khan, S.U., Sandoval, M.A., Al-Qodah, Z., Khalid Z.B., Gilhotra, V., Emamjomeh, M.M., 2021. A critical review of state-of-the-art electrocoagulation technique applied to COD-rich industrial wastewaters. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(32), 43143–43172.
- Mukhopadhyay, S., Jana, A., Ghosh, S., Majumdar, S., Ghosh, T.K., 2022. *Arthrospira* sp. mediated bioremediation of gray water in ceramic membrane based photobioreactor: process optimization by response surface methodology. *International Journal of Phytoremediation*, 1-12.
- Naylor, T., Moglia, M., Bahşetmek, A.L., Arjantin, A.K., 2012. Self-reported judgements of management and governance issues in stormwater and greywater systems. *Journal of Cleaner Production*, 29, 144-150.
- Nghiem, L.D., Oschmann, N., Schäfer, A.I., 2006. Fouling in greywater recycling by direct ultrafiltration. *Desalination*, 187(1-3), 283–290.
- Nolde, E., 2000. Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings– over ten years experience in Berlin. *Urban Water*, 1(4), 275-284.
- Nolde, E., 2005. Greywater recycling systems in Germany results, experiences and guidelines. *Water Science & Technology*, 51(10), 203-210.
- Noutsopoulos, C., Andreadakis, A., Kouris, N., Chaechousi, D., Mendrinou, P., Galani, A., Mantziaras, I., Koumaki, E., 2018. Greywater characterization and loading – Physicochemical treatment to promote onsite reuse. *Journal of Environmental Management*, 216, 337-346.
- Nurmahomed, N., Sobhun, T., Rgen, A.K., Sheridan, C.M., 2022. Performance of a constructed wetland treating synthetic greywater. *Bioresource Technology Reports*, 17, 100930.
- Oki, R., 2015. Evaluation of the use of a graphite intercalation compound for the development of a grey water recycling system by adsorption and electrochemical regeneration. University of Salford, School of Computing, Science and Engineering, Collage of Science and Technology, Degree of Doctor.
- Patel, P., Gupta, S., Mondal, P., 2022. Electrocoagulation process for greywater treatment: Statistical modeling, optimization, cost analysis and sludge management. *Separation and Purification Technology*, 121327.
- Pathan, A.A., Mahar, R.B., Ansari, K., 2011. Preliminary study of greywater treatment through rotating biological contactor. *Mehran University Research Journal of Engineering & Technology*, 30(3), 531-538.

- Patil, Y.M., Munavalli, G.R., 2016. Performance evaluation of an Integrated On-site Greywater Treatment System in a tropical region. *Ecological Engineering*, 95, 492-500.
- Pedro- Monzanis, M., Solera, A., Ferrer, J., Estrela, T., Paredes-Arquiula, J., 2015. A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management. *Journal Hydrology*, 527, 482-93.
- Penn, R., Hadari, M., Friedler, E., 2012. Evaluation of the effects of greywater reuse on domestic wastewater quality and quantity. *Urban Water Journal*, 9(3), 137-148.
- Pidou, M., Avery, L., Stephenson, T., Jeffrey, P., Parsons, S.A., Liu, S., Memon, F.A., Jefferson, B., 2008. Chemical solutions for greywater recycling. *Chemosphere*, 71(1), 147-155.
- Pidou, M., Memon, F.A., Jefferson, B., Jeffrey, P., 2007. Greywater recycling: treatment options and applications. *Engineering Sustainability*, 160(3), 119-131.
- Polat, T., 2008. Evsel Atıksuların Döner Biyolojik Reaktörler Kullanılarak Arıtılması. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Rakesh, S.S., Ramesh. P.T., Murugaragava, R., Avudainayagam, S., Karthikeyan, S., Characterization and treatment of grey water: A review. *International Journal of Chemical Studies*, 8(1), 34-40.
- Ramona, G., Green, M., Semiat, R., Dosoretz, C., 2004. Low strength graywater characterization and treatment by direct membrane filtration. *Desalination*, 170(3), 241-250.
- Ramprasad, C., Philip, L., 2016. Surfactants and personal care products removal in pilot scale horizontal and vertical flow constructed wetlands while treating greywater. *Chemical Engineering Journal*, 284, 458-468.
- Renuka, N., Sood, A., Ratha, S.K., Prasanna, R., Ahluwalia, A.S., 2013. Evaluation of microalgal consortia for treatment of primary treated sewage effluent and biomass production. *Journal Of Applied Phycology*, 25(5), 1529-1537.
- Revitt, D.M., Eriksson, E., Donner, E., 2011. The implications of household greywater treatment and reuse for municipal wastewater flows and micropollutant loads. *Water Research*, 45(4), 1549-1560.
- Rojas-Z, U., Fajardo-O, C., Moreno-Andrade, I., Monroy, O., 2017. Greywater treatment in an aerobic SBR: sludge structure and kinetics. *Water Science & Technology*, 76(6), 1535-1544.
- Rosegrant, M.W., Cai, X., Cline, S.A., 2003. Will the world run dry? Global water and food security. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 45(7), 24-36.
- Ruter, J.M., 2013. Importance of water quality in container plant production. *National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations-2012*, 69, 36-38.

- Ruzhitskaya, O., Gogina, E., 2017. Methods for removing of phosphates from wastewater. MATEC Web of Conferences, 106, 07006.
- Sabri, R.K., 2013. Biological treatment of grey water using sequencing batchreactor. Engineering and Technology Journal, 31(4).
- Santos, C., Matos, C., Taveira-Pinto, F., 2014. A comparative study of greywater from domestic and public buildings. Water Supply, 14(1), 135-141.
- Santos, C., Taveira-Pinto, F., Cheng, C.Y., Leite, D., 2012. Development of an exoerimental system for greywater reuse. Desalination, 285, 301-305.
- Serrano, J.G., Harnandez, A.C., 2008. Depuracion con humadales construidos. Guia practia de diseno construccion y explotacion de sistemas de humedales de flujo subsuperficial.
- Shaikh, I.N., Ahammed, M.M., 2020. Quantity and quality characteristics of greywater: A review. Journal of Environmental Management, 261, 110266.
- Sharma, M.K., Vakil, K.A., Bhatia, A., Kazmi, A.A., Sarkar, S., 2014. Characterization of greywater in an India middle-class household and investigation of physicochemical treatment using electrocoagulation. Seperation and Purification Technology, 130, 160-166.
- Shirazi, M.M.A., Kargari, A., Shirazi, M.J.A., 2012. Direct contact membrane distillation for seawater desalination. Desalination and Water Treatment, 49(1-3), 368-375.
- Singh, M., Srivastava, R.K., 2011. Sequencing batch reactor technology for biological wastewater treatment: a review. Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering, 6(1), 3–13.
- SKKY, 2008. Su kirliliği kontrol yönetmeliği, Tablo 22. SU KİRLİLİĞİ KONTROLÜ YÖNETMELİĞİ (mevzuat.gov.tr) Erişim Tarihi: 08.1.2022
- Smith, E., Bani-Melhem, K.B., 2012. Grey water characterization and treatment for reuse in an arid environment. Water Sci. & Technol, 66(1), 252- 255.
- Spychala, M., Niec, J., Zawadzki, P., MATz, R., Nguyen, T.H., 2019. Removal of volatile solids from greywater using sand filters. Applied Sciences, 9(4), 770.
- Surendran, S., Wheatley, A.D., 1998. Grey-Water Reclamation for Non-Potable Re-Use. Water and Environment Journal, 12(6), 406-413.
- Şahin, B., 2016. Küresel bir sorun: su kıtlığı ve sanal su ticareti. Hitit Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İktisat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D., 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse. Metcalf & Eddy.
- Tran-Ngoc, K., T., Dinh, N.T., Nguyen, T.H., Roem, A.J., Schrama, J., W., Verreth, J.A.J., 2016. Interaction between dissolved oxygen concentration and diet composition on growth, digestibility and intestinal health of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). Aquaculture, 462, 101-108.
- Tsanis, I.K., Koutrouslis A.G., Daliakopoulos I.N., Jacob, D., 2011. Severe climate-induced water hontage and extremes in Crete. Climatic Change, 106(4), 667-677.

- Turner, R.D.R., Warne, M.S.J., Deniz, L.A., Thompson, K., Vasiyet, G.D., 2019. Greywater irrigation as a source of organic micro- pollutants to shallow groundwater and nearby surface water. *Science of The Total Environment*, 669, 570-578.
- Tusiime, A., Solihu, H., Sekasi, J., Mutanda, H.E., 2022. Performance of lab-scale filtration system for grey water treatment and reuse. *Environmental Challenges*, 9, 100641.
- Tzanakakis, V.A., Paranychianakis, N.V., Angelakis, A.N., 2020. Water supply and water scarcity. *Water*, 12(9), 2347.
- UNESCO, WWAP, 2017. The United Nations World Water Development Report, 2017. Wastewater: the Untapped Resource. UNESCO, Paris.
- UNESCO, WWAP, 2016. The United Nations World Water Development Report, 2016: Water and jobs: facts and figures. UNESCO, Paris, France.
- Uthirakrishnana, U., Manthapurib, V., Harafanb, A., Chellam, P.V., Karuppiahd, T., 2022. The regime of constructed wetlands in greywater treatment. *Water Science and Technology*.
- Üstün, G., Tırpancı, A., 2015. Gri suyun arıtımı ve yeniden kullanımı, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 20(2), 119-139.
- Vives Fabregas, M.T., 2004. SBR technology for wastewater treatment: Suitable operational conditions for a nutrient removal. *Universitat de Girona*.
- Vuppaladadiyam, A.K., Merayo, N., Prinsen, P., Luque, R., Balanco, A., Zhao, M., 2018. A review on greywater reuse: quality, risks, barriers and global scenarios. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 18(1), 17-99.
- Vymazal, J., 2010. Constructed wetlands for wastewater treatment. *Water*, 2(3), 530-549.
- WHO, 2006. World Health Report 2006: Working together for health. World Health Organization.
- Winward, G.P., Avery, L.M., Frazer-Williams, R., Pidou, M., Jeffrey, P., Stephenson, T., Jefferson, B., 2008. A study of the microbial quality of grey water and an evaluation of treatment technologies for reuse. *Ecological Engineering*, 32(2), 187-197.
- Xia, W.L., Wang, H., Yu, L.Q., Li, G.F., Xiong, J.R., Zhu, X.Y., Wang, X.C., Zhang, J.R., Huang, B.C., Jin, R.C., 2022. Coagulants put phosphate-accumulating organisms at a competitive disadvantage with glycogen-accumulating organisms in enhanced biological phosphorus removal system. *Bioresource Technology*, 346, 126658.
- Yaakob, M.A., Mohamed, R.M.S.R., Al-Gheethi, A.A.S., Kassim, A.H.M., 2018. Characteristics of chicken slaughterhouse wastewater. *Chemical Engineering Transactions*, 63, 637-642.
- Ye, Y., Ngo, H.H., Guo, W., Liu, Y., Li, J., Liu, Y., Zhang, X., Jia, H., 2017. Insight into chemical phosphate recovery from municipal wastewater. *Science of The Environment*, 576, 159-171.

- Yoonus, H., Al-Ghamdi, S.G., 2020. Environmental performance of building integrated grey water reuse systems based on Life- Cycle Assesment: A systematic and bibliographic analysis. *Science of the Total Environment*, 712, 136535.
- Yu, P., Cao, J., Jegatheesan, V., Du, X.,2019. A real-time BOD estimation method in wastewater treatment process based on an optimized extreme learning machine. *Applied Sciences*, 9(3), 523.
- Zadeh, S.M., 2013. Sustainability Evaluation of Shared Greywater Recycling in Urban Mixed-use Regeneration Areas. The University of Birmingham, College of Engineering and Physical Sciences, School of Civil Engineering, Degree of Doctor.
- Zhang, Q.H., Yang, W.N., Ngo, H.H., Guo, W.S., Jin, P.K., Dzakpasu, M., Yang, S.J., Wang, Q., Wang, X.C., Ao, D., 2016. Current status of urban wastewater treatment plants in China. *Environment International*, 92, 11–22.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ayşenur ÖZGÜN

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Çevre Mühendisliği	2023
Lisans	Sakarya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Çevre Mühendisliği	2017

YABANCI DİL

İngilizce